Fundação Nacional da Saúde

Manual de fluoretação da água para consumo humano

FUNASA

Fundação Nacional de Saúde

Fundação Nacional de Saúde

Manual de Fluoretação da Água Para Consumo Humano

Brasília, 2012

Copyright© 2012 Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde.

Todos os direitos reservados. É permitida a reprodução parcial ou total desta obra, desde que citada a fonte e que não seja para venda ou qualquer fim comercial.
A responsabilidade pelos direitos autorais de textos e imagens desta obra é da área técnica.
A coleção institucional do Ministério da Saúde pode ser acessada, na íntegra, na Biblioteca Virtual em Saúde do Ministério da Saúde: http://www.saude.gov.br/bvs

Tiragem: 1ª edição – 2012 – 10.000 exemplares

Elaboração, distribuição e informações:
MINISTÉRIO DA SAÚDE
Fundação Nacional de Saúde
Departamento de Saúde Ambiental
Departamento de Engenharia de Saúde Pública
Setor de Autarquias Sul, Quadra 4, Bloco N, 10º andar, Ala sul
CEP: 70070-040, Brasília – DF
Tel.: (61) 3314-6442
Home page: http://www.**funasa**.gov.br

Editor:
Coordenação de Comunicação Social – Coesc/Gab/Presi/**Funasa**/MS
Divisão de Editoração e Mídias de Rede
Setor de Autarquias Sul, Quadra 4, Bl. N, 2º Andar – Ala Norte
CEP: 70.070-040 – Brasília-DF

Impresso no Brasil / Printed in Brazil

Ficha Catalográfica

Brasil. Fundação Nacional de Saúde.
Manual de fluoretação da água para consumo humano / Fundação Nacional de Saúde. – Brasília : **Funasa**, 2012.
72 p.

ISBN

1. Fluoretação da água. 2. Consumo de água. 3. Água potável. I. Título. II. Série.

CDU 628.1

Sumário

1 Introdução 5
2 Histórico da fluoretação 7
3 Legislação da fluoretação 11
4 Aspectos Gerais: Flúor 13
5 Metabolismo do Flúor 15
6 Toxicidade do Flúor 17
7 Fluoretação da água para consumo humano 19
8 Requisitos básicos para implantação da fluoretação 21
9 Tipos de Tecnologias atualmente empregadas 25
9.1 O Ácido Fluossilícico 25
9.1.1 Segurança e manuseio 25
9.1.2 Cuidados especiais 26
9.1.3 Concentração do ácido Fluossilícico na solução adquirida 26
9.1.4 Cálculo para dosagem do ácido Fluossilícico em função do teor de íon fluoreto a ser aplicado 27
9.1.5 Cálculo do consumo de ácido Fluossilícico - $C_{ácido}$ 28
9.1.6 Equipamentos – dosadores 29
9.1.7 Bombas dosadoras 29
9.1.8 Dosadores de nível constante 30
9.1.8.1 Dosador simples por gravidade 30
9.1.8.2 Dosador simples por gravidade e por transporte 31
9.1.8.3 Dosador simples por gravidade, auxiliado por água sob pressão para transporte e aplicação da mistura 31
9.1.8.4 Dosadores de nível constante sob pressão 32
9.2 O ácido fluossilicato de sódio 33
9.2.1 Segurança e manuseio 33
9.2.2 Cuidados especiais - armazenagem 33
9.2.3 Equipamentos dosadores 33
9.2.3.1 Cone de saturação 33
9.2.3.1.1 Especificações do cone 34
9.2.3.1.2 - Operação do cone 35
9.2.3.2 Cálculo do consumo de Fluossilicato de Sódio, utilizando o cone de saturação, em função do teor de íon fluoreto a ser aplicado 36
9.2.3.2 Cilindro de saturação 37
9.2.3.3 Tubulação de saturação 37
9.2.3.4 Dosador por saturação multicâmaras (DSM) 38
9.2.3.5 Bomba dosadora 38

10 Análises de íons fluoretos 41
10.1 Amostragem 41
10.2 Método da Destilação Preliminar 42
10.2.1 Equipamento 42
10.2.2 Procedimento 42
10.3 Método Spadns 43
10.3.1 Equipamento 43
10.3.2 Reagentes 44
10.3.3 Procedimento 44
10.3.4 Cálculos 45
10.4 Método Visual da Alizarina 45
10.4.1 Equipamento 45
10.4.2 Reagentes 45
10.4.3 Procedimento 46
10.5 Método Eletrométrico 47
10.5.1 Princípio 47
10.5.2 Interferentes 47
10.5.3 Equipamentos 47
10.5.4 Reagentes 47
10.5.5 Procedimento 48
10.5.6 Cálculos 49
Referências bibliográficas 51
Anexo A - Desenhos esquemáticos do cone de saturação 53
Anexo B - Portaria nº 635/Bsb. de 26 de dezembro de 1975 55
Anexo C - Lei nº 6.050 - de 24 de maio de 1974 67
Anexo D - Decreto nº 76.872, de 22 de dezembro de 1975 69

1. Introdução

A cárie dental representa um grave problema na saúde bucal coletiva afetando grande parte da população. É uma afecção causada pela ação de enzimas liberadas por certas bactérias, presentes na cavidade bucal, que agem sobre resíduos açucarados, fermentando-os, formando ácidos que desmineralizam o esmalte, tornando o dente vulnerável à cavitação (Buendia, 1996).

O problema da cárie dental no Brasil assume dimensões que são determinadas pelas precárias condições sócio-econômicas da maioria da população, as quais dificultam ou impedem o acesso à alimentação adequada, as informações sobre saúde, e até mesmo a produtos básicos de higiene bucal. Contudo, a maioria da população tem acesso a serviços de assistência odontológica e consultas eventuais para resolução de problemas de urgência, estando à margem de cuidados sistemáticos que enfatizam medidas preventivas e a educação em saúde.

A prestação de serviços públicos de saúde bucal no Brasil, historicamente, caracterizava-se por ações de baixa complexidade, na sua maioria, curativas e mutiladoras, com acesso restrito. A grande maioria dos municípios brasileiros desenvolvia ações para a faixa etária escolar, de 6 a 12 anos, e gestantes. Os adultos e os idosos tinham acesso apenas a serviços de pronto atendimento e urgência, geralmente mutiladores. Isso caracterizava a odontologia como uma das áreas da saúde com extrema exclusão social. Segundo o Levantamento Nacional de Saúde Bucal – SB Brasil – concluído em 2003 pelo Ministério da Saúde, 13% dos adolescentes nunca haviam ido ao dentista, 20% da população brasileira já tinha perdido todos os dentes e 45% dos brasileiros não possuíam acesso regular a escova de dente.

Na última década, o Brasil avançou muito na prevenção e no controle da cárie em crianças. Contudo, a situação de adolescentes, adultos e idosos está entre as piores do mundo. E mesmo entre as crianças, problemas gengivais e dificuldades para conseguir atendimento odontológico persistem. Para mudar esse quadro, o governo federal criou a política Brasil sorridente, que reúne uma série de ações em saúde bucal, voltadas para cidadãos de todas as idades.

Até o lançamento do Brasil Sorridente em 17 de março de 2004, apenas 3,3% dos atendimentos odontológicos feito no SUS correspondiam a tratamentos especializados. A quase totalidade era de procedimentos mais simples, como extração dentária, restauração, pequenas cirurgias, aplicação de flúor.

Portanto, é necessário investir na prevenção da cárie dental que pode ser realizada por meio da aplicação do flúor, uma vez que, este elemento age por meio de vários processos, ou seja: aumentando a resistência do esmalte dos dentes, pelo efeito bacteriostático e remineralização do esmalte do dente desmineralizado por ação de ácido. Por isso o Flúor é o elemento mais eficiente e eficaz na prevenção da cárie dental, sendo o método de fluoretação de águas de abastecimento público o mais recomendado para prevenção de cárie dentária, uma vez que a sua ação se processa durante toda a vida do indivíduo (Buendia, 1996).

Historicamente sabe-se que a Organização Mundial de Saúde desenvolveu um programa para a promoção da fluoretação de água de abastecimento de comunidades, apresentado na 25º Assembléia Mundial de Saúde, em 1975, que enfatizou a importância de se utilizar o flúor nas concentrações adequadas na água de abastecimento. O programa obteve aprovação por unanimidade dos 148 países-membros, incluindo os países que adotam outros métodos sistêmicos como Suécia, Holanda, Áustria, Bélgica, Dinamarca, Itália, Suíça, dentre outros (Viegas et al., 1987).

Neste caso, deve ser enfatizado que a ingestão de flúor em dosagens recomendadas pela legislação é benéfica. Entretanto, sua eficácia fica comprometida quando ingerido em baixas dosagens. Por outro lado, o flúor consumido em excesso apresenta toxidade aguda ou crônica. A toxidade aguda seria a resposta ao consumo de alta dosagem de flúor de uma única vez. Na toxidade crônica têm-se a fluorose, que resulta da ingestão acima do limite adequado por período prolongado, ocasionando, a princípio, manchas esbranquiçadas no esmalte dental podendo agravar-se a um grau deformante do elemento.

Pelo exposto anteriormente, o acesso à água tratada e fluoretada é fundamental para as condições de saúde da população. Viabilizar políticas públicas que garantam a implantação da fluoretação das águas é a forma mais abrangente e socialmente justa de acesso ao flúor.

2. Histórico da fluoretação

As propriedades preventivas do flúor foram descobertas a partir de investigações sobre o seu efeito tóxico no esmalte dentário em desenvolvimento, resultante da sua ingestão. A constatação da fluorose dentária precedeu a adoção da fluoretação da água de abastecimento público como medida benéfica à saúde bucal. Mediante a observação de tais efeitos e o desejo de investigá-los, desencadeou-se uma série de estudos, que resultaram na descoberta da fluoretação da água de abastecimento público como medida de controle de cárie dentária (Thylstrup, 1990). A história da fluoretação pode ser dividida em três períodos: entre 1803-1933; 1933-1945 e a partir de 1945 (Buzalaf, 2002).

Em 1911, o Cirurgião dentista McKay, observou que as crianças residentes em colorado Spring, EUA, tinham seus dentes manchados, enquanto que as crianças de cidades vizinhas não possuíam dentes manchados (Buendia, 1996).

Mckay e Black, em 1916, não conseguiram estabelecer correlação entre a ocorrência das "Manchas de Colorado" com outros fatores sócio-econômicos e nutricionais da população local. Entretanto, estabeleceram uma relação direta entre o defeito estrutural do esmalte e a presença de alguma substância na água de abastecimento público. Ao ser constatado que a população residente na área urbana, abastecida pela água de Colorado Springs, desde bebês, ou seja, desde o período de formação dentária, apresentava o manchamento do esmalte e os moradores da área rural não, estabeleceu-se a relação com a água consumida (Ramires e Buzalaf, 2005).

Mais tarde, em 1928, Mckay sugeriu que a substância presente na água, responsável pela causa das manchas aos dentes, também seria capaz de reduzir a cárie dos dentes das crianças (Mckay, 1928 apud Burt; Fejerskov, 1996). Em 1931, Petrey descobriu, acidentalmente, que a água utilizada em Bauxite, uma das cidades americanas em que o esmalte mosqueado tornou-se endêmico, possuía 13,7 mg F/L. Assim, foram sendo reunidos os dados sobre a presença de flúor na água e foi se tornando claro que o grau de severidade das manchas dentárias era proporcional à maior quantidade de flúor na água, e a afecção do esmalte mosqueado passou a ser chamada de Fluorose. Paralelamente a isto, também se percebeu que a Fluorose ocorria durante o período de calcificação dos dentes (Mckay, 1928 apud Burt; Fejerskov, 1996 apud Ramires e Buzalaf, 2005).

Em 1931, o químico Petrey, fazendo análise da água de Bauxite - EUA, verificou a presença de Flúor na mesma. Análises de amostras de água de outros locais onde havia presença de dentes manchados evidenciaram, também, a presença de Flúor natural. Conclui-se, então, a relação entre dentes manchados (Fluorose dentária), cárie dentária e água com Flúor natural (Buendia, 1996).

Na segunda etapa da história da fluoretação, muitos estudos foram realizados por Dean, McKey e outros pesquisadores, entre 1933 a 1937. Em 1938, após estudos Dean divulgou que em cidades onde as águas continham um teor de flúor natural acima de 1ppm, o número de crianças isentas de cárie era mais de duas vezes maior que o das que residiam em cidades com teores abaixo de 0,6 ppm.

Surgiram, então, inúmeros trabalhos de pesquisas sobre água com flúor natural e sua relação com a cárie dentária e com a saúde geral. Estudos realizados por Arnold, McClure, Jay e principalmente, por Dean e Evolve, procuraram estabelecer a relação entre o limite mínimo de flúor natural existente na água que não provocasse Fluorose dentária e produzisse eficiente resultado na prevenção de cárie dentária (Buendia, 1996).

A terceira etapa da história da fluoretação teve início por volta de 1945, onde foi registrado o primeiro caso de fluoretação da água distribuída à população. O fato ocorreu na cidade de Grand Rapids - EUA, seguida de Newburg - EUA, e Brantford - Canadá, tendo cada uma, outra cidade controle sem existir Flúor em suas águas (Buendia, 1996).

Em 1953, foram divulgados os estudos de 8 (oito) anos de fluoretação agregada. Os resultados para a saúde geral e para a saúde bucal foram idênticos aos anteriormente observados. Todos os estudos realizados até o momento comprovam a eficiência e a eficácia da fluoretação de águas de abastecimento público na prevenção de cárie dentária (Buendia, 1996).

A fluoretação das águas de abastecimento público teve início, no Brasil, em 31 de outubro de 1953, com a implantação deste método em Baixo Guandu, Espírito Santo, pelo Serviço Especial de Saúde Pública, hoje Fundação Nacional de Saúde - **Funasa**. A escolha desse município foi precedida de um inquérito odontológico que acusou um elevado índice de cárie dental naquela população. O composto utilizado foi o Fluossilicato de Sódio. Estudos, após14 (quatorze) anos da implantação da fluoretação nesta cidade, demonstraram que houve 65,0% de redução de cárie dental em crianças de 6 a 12 anos (Buendia, 1996).

A Organização Mundial da Saúde, em 1958, reconheceu a importância da fluoretação e instituiu um Comitê de Peritos em fluoretação da água, que em seu primeiro relatório deu parecer favorável à fluoretação, indicando-a como uma medida de saúde pública. O mesmo Comitê sugeriu que pesquisas de outros métodos e veículos de aplicação tópica de Flúor fossem desenvolvidas, a fim de permitir o uso do composto em locais onde a fluoretação não pudesse ser implantada. Durante a 22ª Assembléia Mundial de Saúde, em 1966, a mesma recomendação foi feita aos Estados Membros (Castelo Branco, 1989).

Assim, em 1962, o Serviço de Saúde Pública dos EUA estabeleceu limites para a adição de Flúor nas diversas zonas climáticas da América do Norte, que foram consideradas determinantes para graduar as concentrações em função da temperatura média anual. Esses limites também foram adotados na América Central e do Sul como base para determinar as concentrações de Flúor na água. A concentração ótima de Flúor na água de abastecimento deve possuir um nível que ofereça o mínimo de risco de Fluorose dentária e melhore significativamente o controle da cárie, ou seja, proporcionar o maior benefício com o menor risco (Murray, 1992).

Em 1972 aconteceu em Santiago - Chile, a III Reunião Especial de Ministros de Saúde das Américas, que recomendou também, como medida de prevenção da cárie dental, a aplicação de Flúor. Essa reunião estabeleceu metas a serem cumpridas para a década de 1970, entre outras: implantar sistemas de fluoretação nas cidades de mais de cinquenta mil habitantes e desenvolver, até onde fosse possível, sistemas de fluoretação para outras áreas; dar prioridade aos programas tendentes a proporcionar água potável fluoretada a pelo menos 40% da população; aplicar o flúor ao sal de cozinha nos países que têm sistema de distribuição centralizada de sal; utilizar outros sistemas que permitem

incorporar às comunidades marginais os benefícios advindos de medidas preventivas de eficácia reconhecida e definir uma política de saúde dental.

A Organização Mundial da Saúde desenvolveu um programa para a promoção da fluoretação de água de abastecimento de comunidades, apresentado na 25ª Assembléia Mundial de Saúde, em 1975, obtendo aprovação por unanimidade dos 148 países-membros.

A Federação Dentária Internacional (FDI), Fundação Kellogg (FK) e a Organização Mundial da Saúde (OMS) realizaram, em 1982, a Conferência sobre Fluoretos, onde seus participantes concluíram que a fluoretação da água de abastecimento público é uma medida ideal de saúde pública para o controle da cárie dentária em países onde existem serviços de tratamento de água. Considerando que a fluoretação é cientificamente comprovada como uma medida terapêutica, eficiente e segura, reafirmou-se que esta medida além de implantada deve ser mantida (Viegas et al., 1987).

Ao longo de todos estes anos consolidou-se o entendimento de que a utilização do Flúor na água deve ser realizada com critério, visando obter o máximo de benefício dessa substância, pois, como foi visto, o Flúor é um medicamento e o seu uso inadequado pode desenvolver efeitos colaterais.

3. Legislação da fluoretação

Como muitos países o Brasil tem, também, uma legislação bem estruturada sobre fluoretação de águas que legitimam a imposição do método. O primeiro movimento de fluoretar água de abastecimento público se deu no Rio Grande do Sul, no ano de 1944. Este movimento pioneiro resultou na aprovação da Lei Estadual nº 3125, de 18 de junho de 1957, obrigando a fluoretação das águas de abastecimento em todas as localidades operadas pelo Estado e que possuíssem estação de tratamento. A expansão se deu na década de 60. Por razões conjunturais este programa pioneiro foi interrompido no início dos anos 70. Além do Rio Grande do Sul, poucos estados da Federação, por iniciativa independente dos seus governos, tiveram suas experiências de fluoretação das águas de abastecimento público.

O Congresso Nacional, em 24 de maio de 1974, aprovou a Lei nº 6.050, sancionada posteriormente pelo Presidente da República, General Ernesto Geisel, que determina em seu Artigo 1o que os projetos destinados à construção ou ampliação de sistemas públicos de abastecimento de água, onde haja estação de tratamento, devem incluir previsões e planos relativos à fluoretação de água.

Essa lei foi regulamentada pelo Decreto nº 76.872, da Presidência da República, em 22 de dezembro de 1975, que estabelece que nos sistemas onde não existam Estações de Tratamento de Água (ETA) deve-se utilizar métodos e processos de fluoretação apropriados, ficando o Ministério da Saúde responsável por estabelecer normas e padrões para a fluoretação das águas em todo o território nacional; fixar as condições de obrigatoriedade, respeitando as concentrações mínimas recomendadas e as máximas permitidas de íons fluoreto; estabelecer métodos de análise e procedimentos para determinação da concentração desses nas águas de abastecimento; determinar o tipo de equipamento e técnicas a serem utilizadas na fluoretação da água, levando em consideração o teor natural de flúor já existente, a viabilidade técnica e econômica da medida e o respectivo quadro nosológico dental da população. Compete aos órgãos responsáveis pelos sistemas públicos de abastecimento de água dos estados, Distrito Federal, municípios e dos territórios, o projeto, instalação, operação e manutenção dos sistemas de fluoretação. Compete às Secretarias de Saúde ou equivalentes examinar e aprovar os planos e estudos de fluoretação contidos nos projetos, nas referidas áreas de jurisdição, ficando assim o Ministério da Saúde e as Secretarias de Saúde ou equivalentes, responsáveis pela fiscalização do exato cumprimento das normas estabelecidas.

A legislação indica também que o Ministério da Saúde, em ação conjunta com órgãos oficiais e outros reconhecidos pelo Poder Público, promoverão medidas necessárias à implementação da fluoretação, inclusive capacitando recursos humanos, visando à melhoria das condições de saúde dental da população. Nesse sentido, o Governo Federal em 2004, lançou o Programa Brasil Sorridente – a saúde bucal levada a sério, cabendo à **Funasa** a implantação do subcomponente: Fluoretação da água de sistemas públicos de abastecimento.

As normas e padrão para a fluoretação, a serem seguidos em todo o território nacional foram estabelecidos pela Portaria nº 635/Bsb, de 26 de dezembro de 1975 que aprova o referido decreto defendendo a análise diária e mensal da concentração de Flúor nas águas, determinando a necessidade do controle sobre a fluoretação. Além disso, determina o abastecimento contínuo de água distribuída à população, em caráter regular e sem interrupção, dentro das normas e padrão de potabilidade. Note que os limites recomendados para concentração do íon flúor variam em função da média das temperaturas máximas diárias do ar.

4. Aspectos Gerais: Flúor

O Flúor é o 13º elemento mais abundante no solo e o 15º no mar. Apresenta grande afinidade pelos metais bi e tri valentes, como o manganês, ferro e cálcio, característica que favorece sua fixação nos organismos vivos. É o elemento quimicamente mais reativo de todos os íons carregados negativamente. Como consequência, nunca é encontrado na natureza em forma pura, mas sim em compostos: os fluoretos. Isolado, o flúor é um gás que possui odor irritante.

Os fluoretos são compostos químicos formados pela combinação com outros elementos, encontrados em toda parte: solo, ar, água, plantas e vida animal. Isto explica porque muitos alimentos contêm Flúor. Ainda assim, o que ingerimos não passa em média de 0,3mg de Flúor por dia. O conteúdo de Flúor na superfície terrestre varia de 20-500 ppm, aumentando nas camadas mais profundas podendo chegar até 8.300 ppm, conferindo uma maior concentração de Flúor às águas subterrâneas.

Sua importância no solo se dá ao fato da incorporação deste elemento aos alimentos, principalmente nas folhas de chá, inhame e mandioca. Os fertilizantes contendo flúor, 0,58 – 2,43%, aparentemente não influenciam em sua concentração nos vegetais cultivados em solos fertilizados, embora a literatura relate mudanças abruptas na concentração de Flúor em vegetais.

No ar, a concentração de fluoretos se dá pela presença de "aerossóis" (pó de solos) ricos em Flúor, resíduos industriais gasosos, combustão de carvão e gases emitidos em zonas de atividades vulcânicas, podendo variar de 0,05 - 1,90 mg de Flúor/m^3. Níveis de até 1,4 mg de Flúor/m^3 foram registrados dentro de fábricas e de 0,2 mg de Flúor/m^3 nas imediações.

Na ingestão, o sal de Flúor é rapidamente veiculado através da corrente sanguínea, ocorrendo uma deposição de íons fluoretos nos tecidos mineralizados: ossos e dentes, não havendo deposição nos tecidos moles. A parcela não absorvida, 90%, é eliminada normalmente pelas vias urinárias, ocorrendo também por meio das fezes, suor e fluidos gengivais.

A efetividade do flúor sistêmico se deve à combinação de três fatores: o fortalecimento do esmalte pela redução da sua solubilidade perante o ataque ácido, inibindo a desmineralização; o favorecimento da remineralização; e a mudança na ecologia bucal pela diminuição do número e do potencial cariogênico dos microrganismos.

Estudos mais recentes mostram que, apesar da incorporação do flúor à estrutura íntima dos dentes, o maior grau de proteção permanece constantemente na boca. Mesmo quando ingerido sistematicamente, sua maior função é tópica na superfície dental, depois de retornar ao meio bucal pela saliva. Seus efeitos benéficos se obtêm aumentando ou favorecendo a remineralização de lesões iniciais de cárie (manchas brancas), desenvolvendo uma maior resistência aos ataques futuros nos locais mais expostos à agressão. Sua ação é preventivo-terapêutica, pois o flúor que interessa para fins

de proteção à cárie dental não é aquele incorporado intimamente à estrutura do dente, mas sim o que é incorporado na estrutura mais superficial, sujeito à dinâmica constante de trocas minerais estabelecidas entre saliva e esmalte dentário. Sendo assim ele não oferece resistência permanente à cárie, uma vez que: as pessoas privadas da exposição do flúor voltam a ter as mesmas chances de desenvolver cárie dental que aquelas nunca expostas.

5. Metabolismo do Flúor

Os compostos solúveis de flúor na água e alimentos quando ingeridos sofrem dissociação iônica em função do ácido clorídrico produzido no estômago. O íon fluoreto é absorvido, em sua maior parte, pela mucosa estomacal. Por intermédio do plasma sanguíneo o flúor circula por todo o organismo. Após três horas 70% é eliminado pela urina, 15% pelas fezes e 5% pelo suor. Apenas 10% do Flúor ingerido é assimilado pelo organismo. Essa pequena parte circula nos fluídos intra e extracelulares fixando-se nos tecido duros: ossos e dentes em formação. O flúor não se fixa em tecidos moles (Buendia, 1996).

6. Toxicidade do Flúor

Embora haja consenso da relação existente entre o uso do Flúor e a redução de cárie dentária, pode-se afirmar que o flúor é uma substância tóxica quando ingerido em altas doses. Os efeitos desencadeiam distúrbios gástricos reversíveis e redução temporária da capacidade urinária, fluorose dentária ou esquelética e, eventualmente, até mesmo a morte, uma vez que, estão diretamente relacionados à dose, tempo de ingestão e idade (Whitford, 1996).

A quantidade de ingestão diária de Flúor, normalmente aceita como ideal para o controle da cárie e segura para a prevenção de Fluorose, é de 0,05 a 0,07mg de F/Kg massa corporal (Burt, 1992; Buzalaf; Cury; Whitiford, 2001, apud Ramires e Buzalaf, 2005) embora ainda sejam necessários mais estudos para se determinar precisamente essa dose.

A concentração de Flúor no sangue de um pessoa em jejum que faz ingestão de água fluoretada é cerca de 0,019mg F/L. Em regiões com altas concentrações de Flúor na água de abastecimento, são observadas importantes variações na concentração plasmática de Flúor dos habitantes. Note que em concentração de até 1,2mg F/L as flutuações não são muito evidentes (Ekstrand,1996). A concentração de Flúor no plasma e nos fluidos intersticiais deve ser similar e varia entre 0,01 a 0,05mg F/L, embora outros valores intermediários já tenham sido relatados (Whitford, 1990, apud Ramires e Buzalaf, 2005).

7. Fluoretação da água para consumo humano

A fluoretação da água para consumo humano é uma medida preventiva de comprovada eficácia, que reduz a prevalência de cárie dental entre 50% e 65% em populações sob exposição contínua desde o nascimento, por um período de aproximadamente dez anos de ingestão da dose ótima. É um processo seguro, econômico e adequado.

O método é econômico e apresenta um baixo custo "per capita". O serviço de saúde pública dos Estados Unidos calcula que, para cada dólar despendido na fluoretação da água, 36 dólares são economizados no tratamento da cárie. O benefício atinge toda população sem distinção de ordem econômica, social ou educacional. Durante toda a vida do indivíduo os fluoretos provocam efeitos benéficos à saúde e protegem os dentes contra a cárie.

A concentração, em mg/L, recomendada de íon fluoreto nas águas de abastecimento público é obtida por intermédio da seguinte equação:

Equação 01

$$C\ mg/L = \frac{22,2}{E}$$

Fonte: Portaria nº 635/Bsb, de 26 de dezembro de 1975

Em que:

E = 10,3 + 0,725 T
T = média de Temperatura máxima diárias observadas durante um período mínimo de 1 ano (recomendado 5 anos) em graus centígrados.

Quadro I - Relação entre a média das temperaturas máximas diárias do ar e os limites recomendados para a concentração de íon fluoreto na água

Média das temperaturas máximas diárias do ar (ºC)	Limites recomendados para a concentração do íon fluoreto (mg/L)		
	Mínimo	Máximo	Ótimo
10,0- 12,1	0,9	1,7	1,2
12,2- 14,6	0,8	1,5	1,1
14,7- 17,7	0,8	1,3	1,0
17,8- 21,4	0,7	1,2	0,9
21,5- 26,3	0,7	1,0	0,8
26,4- 32,5	0,6	0,8	0,6

Fonte: Portaria nº 635/Bsb de 26 de dezembro de 1975 - Quadro I

Nas regiões de temperaturas altas são empregadas as menores concentrações de íons fluoretos, enquanto que as maiores concentrações são para as regiões de temperaturas baixas. Isso, porque a maior ingestão de água dar-se-á nas regiões mais quentes e o inverso nas regiões mais frias.

Enfatiza-se que o Valor Máximo Permitido - VMP, destacado na Portaria MS nº2.914/2011, que dispõe sobre as normas e padrão de potabilidade da água para consumo humano, relacionado com os fluoretos, é de 1,5 mg/L. Esse valor também é recomendado pelos Guias de Controle da Qualidade da Água da Organização Pan-americana de Saúde – OPAS, edição de 1996.

Os compostos de Flúor comumente utilizados são: Fluoreto de Cálcio ou Fluorita (CaF_2); Fluossilicato de Sódio (Na_2SiF_6); Fluoreto de sódio (NaF); Ácido Fluossilícico (H_2SiF_6).

O quadro II apresenta os quatro compostos recomendados pela Portaria MS nº 635/ Bsb, com suas respectivas caracterizações.

Quadro II - Compostos recomendados pela Portaria nº 635 para a fluoretação da água para consumo humano

Características	Fluoreto de Cálcio (Fluorita) CaF_2	Fluossilicato de Sódio Na_2SiF_6	Fluoreto do Sódio NaF	Ácido Fluossilícico H_2SiF_6
Forma	Pó	Pó ou cristais finos	Pó ou cristal	líquido
Peso Molecular	78,08	188,05	42,0	144,08
Pureza Comercial %	85 a 98	98 a 99	90 a 91	22 a 30
Solubilidade g/100 g (25 °C)	0,0016	0,762	4,05	
pH da solução saturada	6,7	3,5	7,6	1,2 (solução 1%)
Íon Fluoreto em % (100% puro)	48,8	60,7	42,25	79,2

Fonte: Portaria nº 635/Bsb de 26 de dezembro de 1975 - Quadro II

8. Requisitos básicos para implantação da fluoretação

Para que se possa implantar a fluoretação das águas de um sistema de abastecimento os seguintes fatores devem ser observados:

a) Levantamento do índice de CPO-D (C= Cariados; P=Perdidos; O=Obturados; D=Dentes).

Comentários

O último levantamento epidemiológico nacional, concluído em 2003, para as doenças bucais, denominado de SB - Brasil constatou o declínio do ataque à cárie na população infantil brasileira. Observou-se no estudo que cerca de 70% das crianças brasileiras de 12 anos têm pelo menos um dente permanente com experiência de cárie. Mesmo assim, o país alcançou a meta preconizada pela Organização Mundial da Saúde para o ano 2000 (CPO-D até 3,0) com um atraso de quatro anos, apresentando um índice CPO-D de 2,78 para a população de 12 anos de idade. Dados como estes são preocupantes, especialmente para a Região Norte, que possui características peculiares. Um declínio relevante do CPO-D foi observado no período do estudo, sendo a hipótese explicativa mais plausível a elevação no acesso a água e creme dental fluorados e as mudanças nos programas de saúde bucal coletiva. A despeito da melhora, a distribuição da cárie ainda é desigual. Os dentes atingidos por cárie passaram a se concentrar numa proporção menor de indivíduos. Ademais, não se alterou a proporção de dentes cariados não tratados. A redução das disparidades socioeconômicas e medidas de saúde pública dirigidas aos grupos mais vulneráveis permanecem como um desafio para todos os que formulam e implementam as políticas públicas no Brasil.

b) Informações técnicas do sistema de abastecimento de água:

- Tipo de manancial;
- Vazão do Sistema de Abastecimento de Água;
- População abastecida;
- Número de ligações;
- Tempo de funcionamento;
- Tipo de tratamento;
- Formas de reservação;
- Teor natural de íon fluoreto - É imprescindível que antes da implantação da fluoretação seja conhecido o teor natural de íon fluoreto da água do manancial e que seja mantido sistematicamente o seu monitora mento.

c) Teor ideal de íon fluoreto a ser aplicado - Deverá ser calculado em função da média de temperaturas máximas diárias do ar observadas durante um período mínimo de um ano considerando a recomendação de cinco anos (Quadro I), utilizando a equação 01 anteriormente citada.

d) Escolha do produto - Teoricamente, qualquer composto de Flúor que seja solúvel, liberando, portanto, íons fluoreto em solução aquosa, pode ser utilizado como agente fluoretante. Entretanto, existem diversas considerações práticas envolvidas na seleção do produto a ser utilizado, tais como: eficácia, grau de solubilidade, custo, continuidade de fornecimento pelo fabricante, distância entre a fonte produtora e o consumidor, transporte, estocagem, manuseio do composto e riscos operacionais (Quadro II).

e) Escolha do equipamento - Basicamente são utilizadas bombas dosadoras, dosadores de nível constantes, cone de saturação e cilindros de saturação;

f) Definição do ponto de aplicação - O ponto de aplicação deverá ser definido de acordo com o produto químico a ser utilizado e as características técnicas do sistema de abastecimento de água. Geralmente os pontos escolhidos para aplicação do composto devem ser na saída dos filtros, no reservatório de contato ou reservatório de distribuição. Nos sistemas de captação subterrânea a aplicação é feita diretamente no tubo de recalque da água em ponto que garanta a sua melhor mistura e difusão. No caso de sistemas compostos de várias captações deverá ser aplicado o produto no reservatório de reunião. Nas situações supracitadas, o local de aplicação do produto deverá ser o de maior turbilhonamento da água, conseguindo-se dessa maneira uma maior eficiência da mistura.

g) Definição do método de análise de íons fluoretos e frequência de controle - Entre os diversos métodos utilizados para determinação do íon fluoreto na água, os eletrométricos e os colorimétricos são considerados atualmente os mais satisfatórios;

h) Controle e Frequência - São definidos pelo anexo XII da Portaria MS nº 2.914/2011, que compõem o plano mínimo de amostragem para o controle da qualidade da água distribuída (Quadro III).

Quadro III - Tabela de número mínimo de amostras e frequência para o controle da qualidade da água de sistema de abastecimento, para fins de análises físicas, químicas e de radioatividade, em função do ponto de amostragem, da população abastecida e do tipo de manancial

Parâmetro	Tipo de manancial	Saída do Tratamento		Sistema de distribuição (reservatórios e redes)					
				Número de amostras			Frequência		
				População abastecida					
		Nº Amostras	Frequência	<50.000 hab.	50.000 a 250.000 hab.	>250.000 hab.	<50.000 hab.	50.000 a 250.000 hab.	>250.000 hab.
Cor	Superficial	1	A cada 2 horas	10	1 para cada 5 mil hab	40 + (1 para cada 25 mil hab)	Mensal		
	Subterrâneo	1	semanal	5	1 para cada 10 mil hab	20 + (1 para cada 50 mil hab)	Mensal		
Turbidez, Cloro Residual Livre[1], Cloraminas[1], Dióxido de Cloro[1]	Superficial	1	A cada 2 horas	Conforme § 3º do Artigo 41			Conforme § 3º do Artigo 41		
	Subterrâneo	1	2 vezes por semana						
pH e fluoreto	Superficial	1	A cada 2 horas	Dispensada a análise			Dispensada a análise		
	Subterrâneo	1	2 vezes por semana						
Gosto e odor	Superficial	1	Trimestral	Dispensada a análise			Dispensada a análise		
	Subterrâneo	1	Semestral						
Cianotoxinas	Superficial	1	Semanal quando nº de cianobactérias ≥ 20.000 células/mL	Dispensada a análise			Dispensada a análise		
Produtos secundários da desinfecção	Superficial	1	Trimestral	1	4	4	Trimestral		
	Subterrâneo	Dispensada a análise	Dispensada a análise	1	1	1	Anual	Semestral	Semestral
Demais parâmetros [3][4]	Superficial ou subterrâneo	1	Semestral	1	1	1	Semestral		

Notas:
(1) Análise exigida de acordo com o desinfetante utilizado.
(2) As amostras devem ser coletadas, preferencialmente, em pontos de maior tempo de detenção da água no sistema de distribuição.
(3) A definição da periodicidade de amostragem para o quesito de radioatividade será definido após o inventário inicial, realizado semestralmente no período de 2 anos, respeitando a sazonalidade pluviométrica.
(4) Para agrotóxicos, observar o disposto no parágrafo 5º do artigo 41.
(5) Dispensada análise na rede de distribuição quando o parâmetro não for detectado na saída do tratamento e, ou, no manancial, à exceção de substâncias que potencialmente possam ser introduzidas no sistema ao longo da distribuição.
Fonte: Portaria nº 2914/2011 do Ministério da Saúde – Anexo XII

9. Tipos de Tecnologias atualmente empregadas

A implantação da fluoretação poderá ser realizada com os produtos que em sua seleção contemplem a eficácia, grau de solubilidade, custo, continuidade de fornecimento pelo fabricante, distância entre a fonte produtora e o consumidor, transporte, estocagem, manuseio do composto e riscos operacionais. Os produtos que se enquadram nestas características são: Ácido Fluossilicico (H_2SiF_6) e Fluossílicato de Sódio (Na_2SiF_6).

9.1. O Ácido Fluossilícico

É um subproduto da indústria de fertilizantes. É um líquido altamente solúvel e corrosivo, o que dificulta o seu transporte e requer reservatórios apropriados. Todos os recipientes, tubulações e válvulas, que estiverem em contato com o ácido devem ser de material plástico como: PVC, Polietileno, Polipropileno, Acrílico ou Teflon. Os locais de armazenagem devem ser frescos e ventilados, por sua natureza tóxica, pois ao vaporizar-se, decompõe-se em Ácido Fluorídrico e Tetrafluoreto de Silício. Suas principais características são:

Fórmula: H_2SiF_6
Peso Molecular: 144,08
Densidade a 17,5º C
Na concentração de 14%: 1,1190
Na concentração de 20%: 1,1748
Na concentração de 24%: 1,2136
pH da solução: 1,2
Solubilidade: infinita

O Ácido Fluossilícico normalmente é encontrado no mercado em soluções concentradas a 20%, isto é, em cada 1000 mL da solução, existem 200 mL de ácido. A dosagem na água a ser fluoretada dependerá da concentração do ácido.

Os equipamentos mais utilizados para dosar o Ácido Fluossilícico são: as bombas dosadoras e os dosadores de nível constante.

9.1.1. Segurança e manuseio

A segurança relacionada com o manuseio merece destaque em função da natureza tóxica do produto. Os operadores devem evitar contato do composto com a pele, bem como qualquer possibilidade de ingestão ou inalação dos vapores.

O manuseio do ácido Fluossilícico deve ser realizado com equipamentos de proteção individual – EPI (NR 6 do Ministério do Trabalho e Emprego – 206.000.01/10):

Óculos, máscara, luvas, botas e avental de plástico ou borracha. O local de armazenagem deve possuir torneira com água corrente, de maneira a ser utilizada em caso de acidente. Ocorrendo tal situação, a pele da pessoa acidentada deve ser lavada com bastante água corrente.

9.1.2. Cuidados especiais

O vazamento de ácido deve ser neutralizado com água e cal. Os cuidados com a manipulação do produto incluem a aplicação direta do recipiente, ventilação adequada, estocagem livre de outros produtos, principalmente os incompatíveis. Os recipientes de armazenagem devem ter saída externa para os gases e identificação. Atentar para as recomendações do rótulo com relação ao descarte do recipiente, que deverá ser devolvido para reciclagem.

9.1.3. Concentração do ácido Fluossilícico na solução adquirida

Normalmente, o composto é fornecido na concentração de 20%. Recomenda-se monitorar essa concentração, ou exigir do fabricante o certificado de análises. Enfatiza-se que a concentração é medida por intermédio da aferição da densidade do composto adquirido e utilização de tabela que relaciona a densidade obtida, concentração do ácido e quantidade em g/L. Isto pode ser realizado utilizando os densímetros graduados para 1,1 a 1,2 e 1,2 a 1,3, bem como o Quadro IV a seguir.

Quadro IV - Determinação da quantidade de ácido Fluossilícico em g/L de solução, em função da sua densimetria e da sua concentração

Densidade	% H_2SiF_6	g/L
1,0834	10,0	108,3
1,0878	10,5	114,2
1,0922	11,0	120,1
1,0966	11,5	126,1
1,1011	12,0	132,1
1,1055	12,5	138,2
1,1100	13,0	144,3
1,1145	13,5	150,5
1,1190	14,0	156,7
1,1236	14,5	162,9
1,1281	15,0	169,2
1,1327	15,5	175,6
1,1373	16,0	182,0
1,1419	16,5	188,4

continuação

Densidade	% H_2SiF_6	g/L
1,1466	17,0	194,9
1,1512	17,5	201,5
1,1559	18,0	208,1
1,1609	18,5	214,7
1,1653	19,0	221,4
1,1701	19,5	228,2
1,1748	20,0	235,0
1,1796	20,5	241,8
1,1844	21,0	248,7
1,1892	21,5	255,7
1,1941	22,0	262,7
1,1989	22,5	269,8
1,2038	23,0	276,9
1,2087	23,5	284,0
1,2136	24,0	291,3
1,2186	24,5	296,6
1,2235	25,0	305,9
1,2285	25,5	313,3
1,2335	26,0	320,7
1,2385	26,5	328,2
1,2436	27,0	335,8
1,2486	27,5	343,4
1,2537	28,0	351,0
1,2588	28,5	358,8
1,2639	29,0	366,5
1,2691	29,5	374,9
1,2742	30,0	382,3

Fonte: Buendia, 1996

9.1.4. Cálculo para dosagem do ácido Fluossilícico em função do teor de íon fluoreto a ser aplicado

Conhecida a vazão da água de uma ETA- Q_{ETA}, a concentração do ácido a ser utilizado e sua quantidade em gramas/litro da solução adquirida, de acordo com o teor de íon fluoreto a ser aplicado, pode-se calcular o volume de solução do mesmo a ser dosado (vazão da dosagem do ácido – $Q_{ácido}$), seja por intermédio de bomba dosadora ou dispositivo de dosagem simplificado, por meio da seguinte fórmula:

Equação 02

$$Q_{ácido} = \frac{Q_{ETA} \times \text{teor de ion Fluoreto a ser aplicado x fator}}{\text{(Concentração de ácido Fluossilicio)}} = \frac{(m^3/min) \times (g/m^3) \times 1{,}263}{(g/L)} = (L/min)$$

$Q_{ácido}$ = L/min
Q_{ETA} = m^3 / min
Teor de íon fluoreto = g/m^3
Fator de proporcionalidade = 1,263

Observação: O fator de proporcionalidade representa a relação existente entre o peso molecular do ácido Fluossilícico e a quantidade de íons fluoreto liberado pela sua molécula, ou seja:

$$\text{Fator de proporcionalidade} = \frac{\text{Peso molecular}}{\text{Massa atômica de ions fluoreto do composto}} = 1{,}263$$

Concentração do ácido Fluossilícico = g/L

Exemplo prático 01

Calcular a vazão de dosagem (Q_D) de ácido a 20% para fluoretar a água de uma ETA cuja vazão é de 240.000 litros/hora e o teor ideal de fluoreto a ser aplicado é de 0,7 mg/L.

Concentração do H_2SiF_6 a 20% = 235,0 g/L (observar Quadro IV)
Vazão da ETA = 240.000 litros / hora = 4,0 m3 / min
Teor de íon Fluoreto a aplicar = 0,7 mg/L = 0,7 g/m^3

Aplicando a equação 02

$$Q_D = \frac{4{,}0 \times 0{,}7 \times 1{,}263}{235{,}0} = 0{,}015048 \text{ L/min ou } 15{,}04 \text{ mL/min}$$

9.1.5. Cálculo do consumo de ácido Fluossilícico - $C_{ácido}$

Exemplo prático 02

Além do controle laboratorial, é recomendável efetuar o controle de consumo do composto utilizado, sendo o procedimento adotado como medida de segurança.

- Vazão de dosagem do ácido (Q_D) = 0,015 L/min
- Concentração do ácido = 20% : Densimetria de 1,748 g/cm^3 ou Kg/litro
- Tempo do funcionamento do sistema = 24 horas

Equação 03

$$C_{ácido} = Q_D \times \text{densidade do ácido}$$

Aplicando a Equação 03

$C_{ácido}$ = 0,015L/min x 1,1748 Kg/L = 0.017622Kg/ min = 25,38Kg/dia = 761Kg/mês

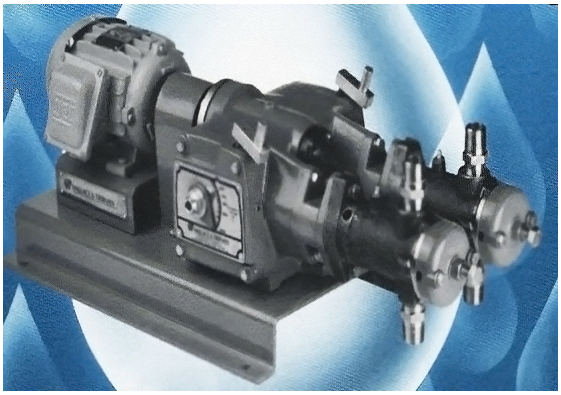
9.1.6. Equipamentos – dosadores

A literatura cita dois tipos de dosadores que podem ser empregados na dosagem do ácido Fluossilícico para fluoretar águas de abastecimento público: Bombas dosadoras e Dosadores de nível constante.

9.1.7. Bombas dosadoras

Usualmente são utilizados dois tipos de bombas dosadoras: Bombas dosadoras do tipo pistão (Figura I) ou do tipo diafragma com motor elétrico (Figura II) e bombas eletromagnéticas. As bombas dosadoras acionadas a motor elétrico estão disponíveis em diversos modelos e são mais indicadas para sistemas de abastecimento de água de médio e grande porte. As bombas eletromagnéticas, também fabricadas em modelos variados, são indicadas para pequenas e médias vazões de produtos químicos. Os dois tipos de bombas mencionados trabalham com compostos em solução, dosados a partir de bombonas ou outros tipos de recipientes. Além do custo às vezes elevado, esse tipo de equipamento necessita também de mão de obra especializada para sua manutenção.

Figura I – Bomba dosadora tipo pistão



Fonte: catalogo: Wallace &Tiernan

Figura II – Bomba dosadora tipo diafragma

Fonte: catalogo: Wallace &Tiernan

Ressalta-se que na instalação deve ser contemplada uma bomba reserva para garantir a continuidade da operação em qualquer eventualidade.

Deve-se atentar para o manual do fabricante, cujo procedimento operacional de montagem e manuseio deve ser disponibilizado de acordo com as legislações vigentes: ABNT e Código do Consumidor.

9.1.8. Dosadores de nível constante

A utilização dos dosadores de nível constante ou de bomba dosadora depende da especificidade de cada sistema de abastecimento de água. Os dosadores de nível constante geralmente são recomendados para sistemas de pequeno porte, embora em determinadas situações também possam ser utilizados em sistemas de médio e grande porte. Como vantagens são citadas: fácil operação e manutenção; mantém a estabilidade da vazão; pouco susceptíveis a variação de vazão; em geral a montagem é de baixo custo e tempo de durabilidade bastante significativo.

Os dosadores de nível constante por gravidade podem ser

- Dosador simples por gravidade;
- Dosador simples por gravidade e por transporte;
- Dosador simples por gravidade, auxiliado por água sob pressão para transporte e aplicação da mistura.

9.1.8.1. Dosador simples por gravidade

São dosadores simples utilizados em Estações de Tratamento de Água - ETA, quando o ponto de aplicação da solução situa-se em cota inferior à caixa de dosagem. O Equipamento é constituído de tanques plásticos, tubulações e conexões em PVC, válvulas – bóias e bancada.

Figura III – Dosador simples por gravidade

Fonte: Buendia, 1996.

9.1.8.2. Dosador simples por gravidade e por transporte

São utilizados em Estações de Tratamento de Água – ETA, alimentadas por pequena vazão de água para transportar o ácido para o ponto de aplicação. Situa-se em cota superior ao ponto de aplicação do ácido. O equipamento é constituído de tanques plásticos, tubulações e conexões e PVC, válvulas – bóias e bancadas.

Figura IV – Dosador simples por gravidade e por transporte

Fonte: Buendia, 1996.

9.1.8.3. Dosador simples por gravidade, auxiliado por água sob pressão para transporte e aplicação da mistura

São dosadores simples utilizados em Estações de Tratamento de Água - ETA, que dependem de uma válvula com orifício variado situada a um nível inferior ao ponto de aplicação, também podendo ser feita diretamente numa adutora de distribuição da água. O equipamento é constituído de tanques plásticos, tubulações e conexões em PVC, válvulas – bóias e bancada. Além do material citado é necessária a instalação de um Venturi (trompa de vácuo), junto ao ponto de coleta do ácido, o qual fica intercalado a uma tubulação de água corrente, sob determinada pressão. A finalidade do Venturi é aspirar o ácido dosado para a tubulação onde circula água sob pressão, permitindo o arraste da mistura ao

ponto de aplicação. Seu principio de funcionamento baseia-se no fato de que um líquido passando de um tubo de diâmetro pequeno para outro de diâmetro maior, através de uma câmara vazia que se comunica com o exterior, forma uma pressão negativa capaz de aspirar uma solução para o interior do sistema e ser arrastada.

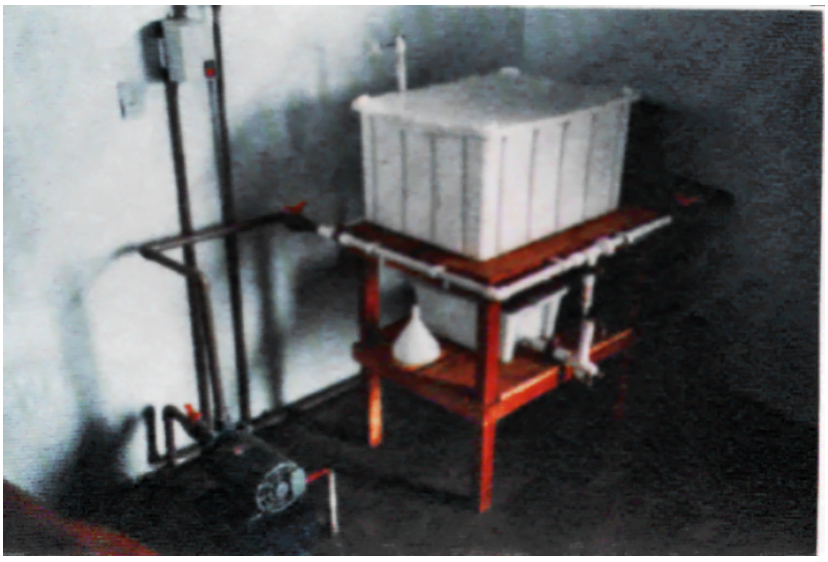
Figura V – Dosador simples por gravidade auxiliado por água sob pressão para transporte e aplicação

Fonte: Buendia, 1996.

9.1.8.4. Dosadores de nível constante sob pressão

Os dosadores sob pressão utilizam água circulante sob pressão gerada pelo próprio sistema de abastecimento. O equipamento inicia ou cessa o funcionamento quando simultaneamente é acionada ou desligada água circulante.

Figura VI – Dosador de nível constante sob pressão



Fonte: Buendia, 1996.

9.2. O Fluossilicato de Sódio

É um produto de natureza tóxica, sólido na forma de pó branco brilhante e cristalino, que apresenta baixa solubilidade. Por ser corrosivo como o Ácido Fluossilícico, necessita que seus dosadores sejam de PVC, Polietileno, Polipropileno ou de Teflon. Em função de sua baixa solubilidade, utiliza-se solução saturada para fluoretar as águas para consumo humano.

Fórmula: Na_2SiF_6
Peso Molecular: 188,05
Peso específico: 1.200 Kg/m³
Umidade: 0,5%
Pureza comercial: 98 a 99%
pH da solução: 3,5
Solubilidade: 0,762 gramas/100g de H_2O a 25ºC
Porcentagem de íon fluoreto em uma molécula de Na_2SiF_6: 60,6%

9.2.1. Segurança e manuseio

A segurança relacionada com o manuseio merece destaque face à natureza tóxica do produto. Os operadores devem evitar contato do composto com a pele, bem como qualquer possibilidade de ingestão ou inalação do pó.

O manuseio do produto deve ser realizado com equipamentos de proteção individual – EPI (NR 6 do Ministério do Trabalho e Emprego – 206.000.01/10): óculos, máscara, luvas, botas e avental de plástico ou borracha. Com relação às medidas coletivas, o local de armazenagem deve ser ventilado e isolado, de maneira que seja evitado o acesso de pessoas não autorizadas.

9.2.2. Cuidados especiais - armazenagem

Os cuidados com a manipulação do produto incluem a aplicação direta no cone ou dosador. O local de armazenamento deverá ter ventilação adequada e ser isolada de outros produtos, principalmente os incompatíveis. Deve ser estocado em pilhas de no máximo de 15 (quinze) sacos sem que haja compactação do produto. Atentar para as recomendações do rótulo com relação ao descarte do recipiente, este deve ser devolvido para reciclagem.

9.2.3. Equipamentos dosadores

Os equipamentos mais empregados na dosagem de solução de Fluossílicato de Sódio para fluoretar águas são: Cone de saturação, Cilindro de saturação e Tubulação de saturação, Dosador por saturação multicâmaras (DSM) e Bomba dosadora.

9.2.3.1. Cone de saturação

O cone de saturação é um equipamento utilizado para dosagem e aplicação do Fluossilicato de sódio. Trata-se de um cone invertido que é carregado com o referido produto e é

alimentado em sua parte inferior por um fluxo de água com vazão constante, proveniente de um reservatório de nível constante.

O processo de preparo da solução se dá no interior do cone, com a dissolução progressiva dos cristais de Fluossílicato de sódio, os quais, com a redução do seu tamanho são arrastados pela velocidade ascensional da água, obtendo-se uma concentração constante de íons fluoretos (Castelo Branco, 1989).

Os estudos iniciais previam o uso do cone para produzir uma solução saturada. A pouca solubilidade do Fluossílicato de sódio (0,76%) fazia supor que o cone seria usado apenas em pequenas instalações com vazão máxima de 50L/s da água tratada. Verificou-se, no entanto, não ser necessário que o cone funcionasse produzindo uma solução saturada. Nas vazões mais elevadas, o conjunto atuava como um alimentador de uma solução uniforme, cuja concentração era função da velocidade de ascensão do fluxo da água. Concluiu-se que não existia a limitação proposta inicialmente (50L/s) e que seria possível fluoretar a água nas Estações de Tratamento com até 500L/s (Castelo Branco, 1989).

Assim, com um único cone de saturação é possível fluoretar uma vazão maior que 50 L/s, dentro de certos limites, dependendo principalmente do teor de flúor a ser dosado na água tratada.

Para Estações de Tratamento de Água de grande porte (vazões acima de 1.800 m^3/h), a implantação da fluoretação pode ocorrer com o emprego de dois ou mais cones em paralelo.

9.2.3.1.1. Especificações do cone

a) Cone construído ou recoberto por materiais resistentes ao produto, como PVC, resinas poliéster, fibra de vidro, epóxi;

b) Dimensões do cone: Diâmetro da base: 0,80m; Altura: 1,10m; A espessura da parede deverá ser fixada em função da natureza do material e sua resistência ao fluxo da solução que vai receber.

c) As figuras do Anexo 1 apresentam um exemplo de instalação do Cone de Saturação.

Figura VII – Cone de fluoretação

9.2.3.1.2. Operação do cone

a) A água de alimentação deve ser injetada sob pressão de 1 Kg/cm^2 próximo ao vértice do cone através de uma tubulação de PVC, com ¾" de diâmetro;

b) A coleta da solução ou suspensão deve ser feita por tubulação de PVC de ¾"de diâmetro, localizada a 0,10m da borda do cone, provida de furos laterais, de diâmetro adequado;

c) A velocidade ascensional obtida na superfície livre da solução ou suspensão deve variar de 0,002 a 0,02mL/s/cm^2

d) O efluente coletado deve ser conduzido por tubulação em PVC de ½"de diâmetro ao ponto de aplicação. É necessário que a água esteja em movimento para que a dissolução das partículas em suspensão seja completada antes da reservação ou distribuição;

e) Estando o equipamento instalado e carregado com 50 Kg de Fluossilicato de sódio, deixar a água entrar lentamente no cone até que o tubo de coleta fique imerso. Nivelar o cone de modo que os furos recebam a mesma carga hidráulica. Em seguida proceder à regulagem da vazão de solução a ser dosada, conforme cálculos feitos anteriormente. A disposição de 50 Kg do produto é a carga inicial (40 cm de altura), devendo ser completada a cada 25Kg consumido. Teoricamente, a concentração da solução/suspensão de Fluossilicato de sódio presente no efluente coletado na superfície livre do cone é cerca de 4,54 g/L.

Equação 04

A concentração teórica da solução eflente do cone de saturação - $C_{saturação}$, é obtida por meio da seguinte equação:

$C_{saturação}$ = Solubilida do produto = % de íon flureto em uma molécula da N_a2SiF_6 x pureza do produto

Solubilidade de Produto: 0,76g/100mL
Porcentagem de íon fluoreto em uma molécula de N_a2SiF_6: 60,6%
Pureza do produto: 98% (observar sempre a pureza do produto pois vai interferir na concentração da solução do efluente)

$$C_{saturação} = 0,76g/100mL \times 0,606 \times 0,98 = 0,454g/100mL \text{ 0u } 4,54g/L$$

9.2.3.2. Cálculo do consumo de Fluossilicato de Sódio, utilizando o cone de saturação, em função do teor de íon fluoreto a ser aplicado

Exemplo prático 03

Conhecida a vazão e o tempo de funcionamento da ETA, além do teor de íon fluoreto a ser aplicado, é possível calcular o consumo de Fluossilicato de sódio:

Equação 05

Consumo de Na_2SiF_6 = Vazão da ETA x Tempo de funcionamento da ETA x Fator de proporcionalidade x Teor de íon Fluoreto

Consumo diário de Na_2SiF_6: Kg/dia
Vazão de funcionamento da ETA: ETA: 86.400 segundos, ou seja, um dia.
Fator de proporcionalidade = 1,65

Cálculo do fator de proporcionalidade: peso molecular do Fluossilicato de sódio/quantidade de íons fluoreto libetado pela sua molécula

Na_2SiF_6

$Na_2 = 2 \times 23 = 46$
$Si = 28 = 28$
$F_{6=} 6 \times 10 = 114$
Peso molecular = 188

Fator de proporcionalidade $= \frac{188}{114} = 1,649 \cong 1,65$

Teor de íon F^- a ser dosado = mg/L

a) Calcular a quantidade do produto Fluossílicato de sódio (Kg/dia) utilizando o cone de saturação, tendo como referencia os seguintes dados:

- Vazão da ETA = 100 L/s
- Tempo de funcionamento = 84.600 segundos
- Teor de flúor a ser dosado = 0,7 mg/L

Aplicando a fórmula, temos que:

Consumo diário=100L/s x 84.600 s x 1,65 x 0,7 mg/L = 9.979 mg/dia ou 9,979 Kg/dia

b) Calcular a vazão do efluente (litros por minuto) do cone de saturação tendo como referencia os seguintes dados:

- Consumo diário de Na_2SiF_6 = 9,979 Kg ou 9.979 g
- Tempo de funcionamento por dia = 84.600 segundos ou 1.440 minutos
- Concentração teóricada solução efluente do cone = 4,54 g/L

$$Vazão_{efluentedocone} = \frac{9.976g/}{1.440min \times 4,54g/L} = 1,53\ L/min$$

9.2.3.2. Cilindro de saturação

Equipamento composto de dois cilindros de PVC com diferença de cerca de 0,2 metro entre eles, sendo que o menor localiza-se dentro do maior, tendo ambos, aproximadamente 2,20 metros de comprimento. De acordo com a vazão do sistema de abastecimento de água, esses cilindros são fabricados com diferentes diâmetros.

9.2.3.3. Tubulação de saturação

É constituído de um tubo de plástico em PVC e diâmetro variável, conforme a vazão desejada, possuindo 1,50 metro de comprimento. Nesse tubo é feita uma abertura longitudinal de 0,06 metros de largura por 0,60 metro de comprimento, a qual servirá de visor de nível do composto de flúor; uma placa de acrílico incolor de 0,09 metro por 0,63 metro para vedar a abertura do visor de nível constante; um cap vedando a luz do tubo na parte inferior; uma placa de PVC, colada internamente a 0,05 metro da parte inferior do tubo, crivada de pequenas perfurações para permitir a passagem de água e servir de apoio para o composto de flúor; uma placa de PVC, colada internamente de parte superior do tubo, contendo uma abertura central de 10 cm de diâmetro; 15 cm de tubo de PVC, diâmetro de 10 cm, colado na placa de PVC da parte superior; dois registros esféricos, tipo borboleta, diâmetro ¾ sendo um para abertura e fechamento da passagem de água, e outro, para regulagem da vazão de dosagem, um funil plástico, um flange.

Figura VIII – Tubulação de saturação

Fonte: Buendia, 1996.

9.2.3.4. Dosador por saturação multicâmaras (DSM)

Em alguns sistemas de abastecimento esse tipo de dosador tem sido utilizado ultimamente. Trata-se de equipamento construído com quatro câmaras distintas, alimentadas por fluxo ascendente de água, conseguindo-se dessa forma a produção de solução saturada de Fluossílicato de sódio.

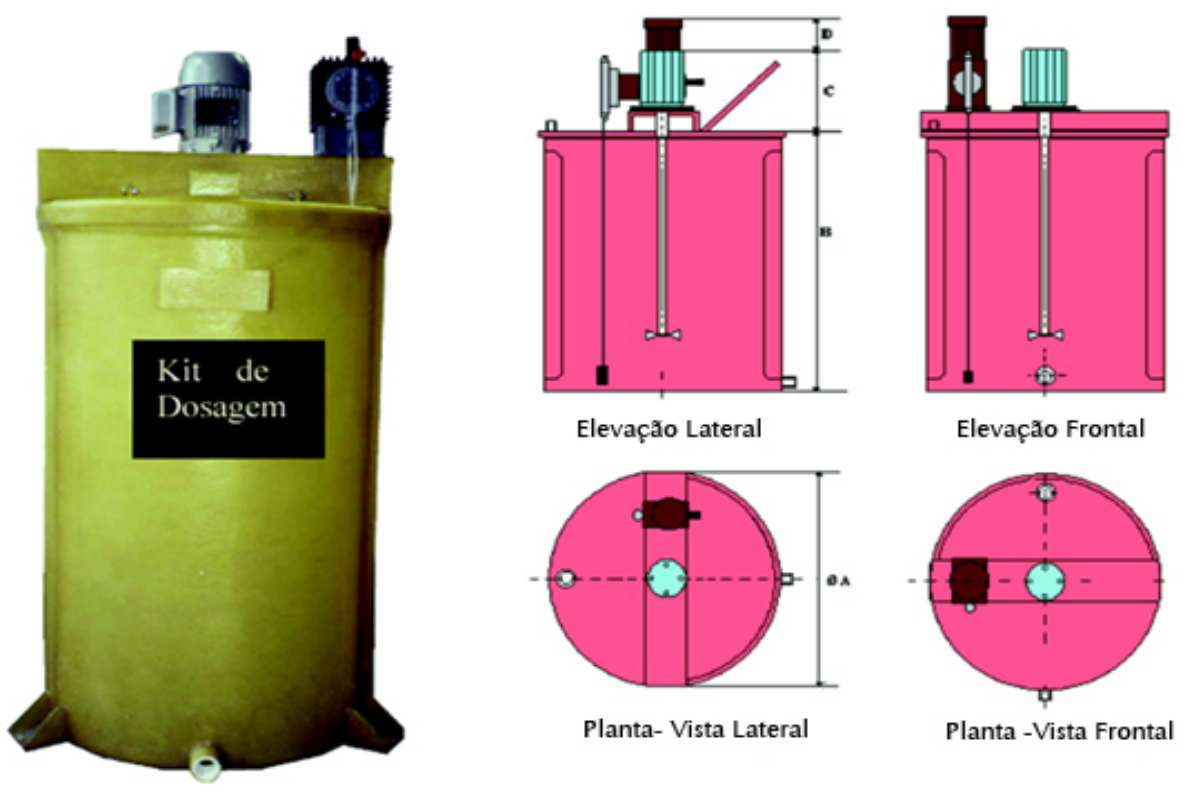
9.2.3.5. Bomba dosadora

Atualmente, alguns sistemas de abastecimento de água estão utilizando este equipamento para aplicação e dosagem do fluossilicato de sódio, em soluções de concentração até o limite de solubilidade do produto, 0,762%.

A solução é preparada em tanque específico para soluções químicas mantendo agitação constante, de onde é recalcada para o ponto de aplicação do produto.

A Figura seguinte apresenta o esquema de um kit de dosagem para fluoretação de água para abastecimento humano dotado uma bomba dosadora e um agitador, ambos instalados sobre um tanque reservatório para a solução de fluoretante.

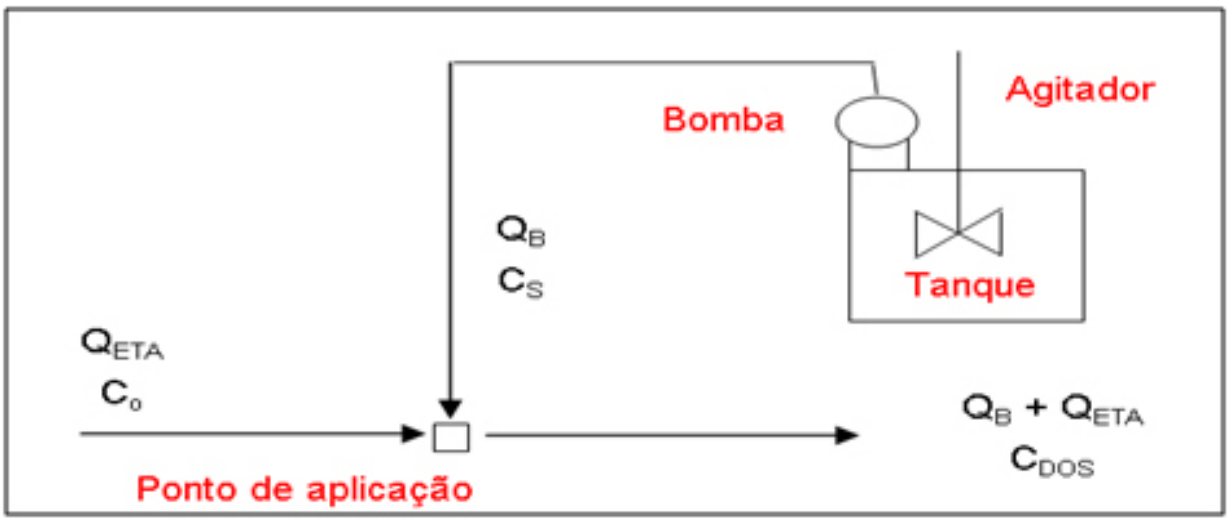
Figura IX – Kit de dosagem para fluoretação de água



Fonte: Documento **Funasa**, 2006

Depois que a solução de fluoretante (nesse caso o fluossilicato de sódio) é preparada no tanque mediante a ação do agitador, a dosagem ocorre por meio da bomba dosadora, conforme o esquema da Figura X.

Figura X Esquema de dosagem da solução de fluoretação no ponto de aplicação



Definida a concentração de íon fluoreto na solução de fluoretante preparada no tanque (C_S), é possível definir a vazão de dosagem da bomba dosadora (Q_B) por meio da aplicação de um balanço de massa no ponto de aplicação, conforme a fórmula seguinte:

Equação 06

$$(Q_{ETA} \times C_O) + (Q_B \times C_S) = (Q_B + Q_{ETA}) \times C_{DOS}$$

$$(Q_B \times C_S) - (Q_B \times C_{DOS}) = (Q_{ETA} \times C_{DOS}) - (Q_{ETA} \times C_O)$$

$$Q_B = \frac{Q_{ETA} \times (C_{DOS} - C_O)}{C_S - C_{DOS}}$$

Q_{ETA} = Vazão da estação de tratamento de água (L/s)
C_O = Concentração inicial de íon fluoreto na água bruta (mg/L)
Q_B = Vazão de dosagem da bomba dosadora (L/s)
C_S = Concentração de íon fluoreto na solução de fluoretante preparada no tanque (mg/L)
C_{DOS} = Concentração de íon fluoreto desejada após a dosagem (mg/L)

Observação: A concentração de íon fluoreto da solução de Fluossilicato de sódio preparada no tanque pode ser de, no máximo 0,762%, em função da solubilidade do produto.

Exemplo prático 04

Calcular a vazão de uma bomba dosadora para solução de Fluossilicato de sódio, considerando os seguintes dados:

- Vazão da ETA (Q_{ETA})= 30 L/s
- Concentração inicial de íon fluoreto na água bruta (C_o) = 0 mg/L
- Concentração íon fluoreto na solução de Fluossilicato de sódio (C_S) = 0,40 %
- Concentração de íon fluoreto desejada após a dosagem (C_{DOS}) = 0,7 mg/L
- Considere ainda que o Na_2SiF_6 possuí uma pureza comercial de 98%

A concentração de íon fluoreto na solução de Fluossilicato de sódio (Na_2SiF_6) é 0,40 %, ou 4g/L ou 4.000 mg/L. Sendo cada molécula de Na_2SiF_6 composta de 60,7% de íon fluoreto, então:

C_S = 4.000 x 0,607 = 2.428 mg/L

Aplicando a fórmula:

$$Q_B = \frac{Q_{ETA} \times (C_{DOS} - C_O)}{CS - C_{DOS}} = \frac{30 \times (0,7-0)}{2.428 - 0,7C} = \frac{0,0086L}{s} = 31,13L/h$$

Observação: Deve ser considerada a pureza comercial do produto, Portanto o valor de Q_B calculado deve ser dividido por 0,98. A vazão da bomba dosadora (Q_B) será de 31,77 L/h.

10. Análises de íons fluoretos

Entre os diversos métodos para determinação do íon fluoreto na água, os eletrométricos e os colorimétricos são atualmente considerados os mais satisfatórios.

Os métodos colorimétricos são baseados na reação entre o fluoreto e a laca de zircônio com um corante orgânico. O fluoreto forma um ânion complexo ZrF_6^{2-}, incolor. À proporção que a quantidade de íons fluoretos cresce, a coloração da laca decresce ou modifica seu matiz. Ambos os métodos colorimétricos são aplicáveis a amostras contendo teores de fluoreto na faixa 0,05 a 1,4 mg/L. Em geral os métodos colorimétricos estão sujeitos aos mesmos interferentes, variando apenas os graus. O Quadro V indica as substâncias que comumente interferem nos dois métodos. Estas interferências não são aditivas. A amostra deverá ser previamente destilada quando qualquer substância presente cause interferência, cujo erro seja de 0,1 mg/L, ou quando houver dúvida no efeito. A destilação também é recomendada para as amostras coloridas ou turvas. Algumas vezes pode-se diluir a amostra ou neutralizá-la, quando for o caso, para diminuir os efeitos interferentes. O cloro interfere em todos os métodos colorimétricos e deverá ser removido por arsenito de sódio. Nos métodos colorimétricos volumes e temperaturas são críticos e devem ser medidos com precisão, pois deles dependem os resultados.

Quadro V - Substâncias que interferem nos métodos colorimétricos de análise de íons fluoreto

Substância Interferente	Método Spands		Método Visual de Alizarina	
	Conc. mg/L	Tipo de Erro	Conc.mg/L	Tipo de Erro
Alcalinidade ($CaCO_3$)	5.000	-	400	-
Alumínio (Al^{+++})	0,1	-	0,25	-
Cloreto (Cl^-)	7.000	+	2.000	-
Ferro (Fe^{+++})	10	-	2	+
Hexametafosfato ($NaPO_3)_6$	1,0	+	1,0	+
Fosfato (PO_4^-)	16	+	5	+
Sulfato (SO_4^-)	200	+	300	+

Fonte: Portaria nº 635/Bsb, de 26 de dezembro de 1975.

10.1. Amostragem

A coleta de água para determinação de fluoreto deve ser preferencialmente em frasco de polietileno ou propileno. A amostra deve ser coletada e analisada dentro de um período de sete dias.

10.2 Método da Destilação Preliminar

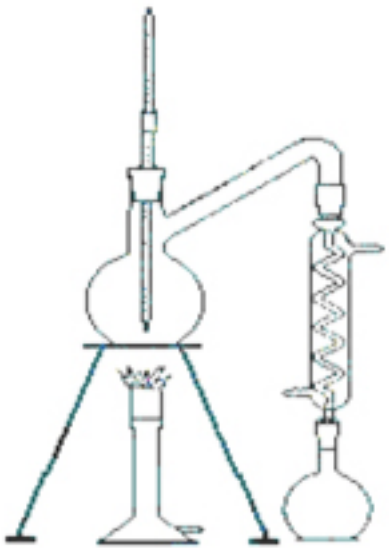
Por meio de destilação, o íon fluoreto pode ser separado dos outros elementos existentes nas águas, na forma de ácido Fluossilícico ou Fluorícico ou Fluorídrico. A recuperação quantitativa do fluoreto se obtém usando amostras relativamente grandes e sob altas temperaturas.

10.2.1. Equipamento

O aparelho de destilação (figura XI) consiste de: balão de vidro pirex, com capacidade de um litro, fundo redondo e pescoço longo; tubo de conexão; condensador eficiente, e termômetro com escala de 0º a 200º C. Qualquer outro destilador semelhante ao da figura poderá ser usado. Os pontos críticos a serem observados são aqueles que afetam a completa recuperação dos fluoretos, tais como obstruções do vapor etc., e condições que podem aumentar o arraste do sulfato. Deste modo, pode-se usar anteparos de asbesto para proteger da chama a parte superior do balão de destilação. Esse aparelho pode ser modificado para que seja desligado automaticamente quando a destilação acabar.

Os reagentes utilizados são o ácido sulfúrico concentrado e sulfato de prata cristalizado.

Figura XI Aparelho de destilação



Fonte: Portaria nº 635/Bsb, 26 de dezembro de 1975.

10.2.2. Procedimento

Conforme apresentado pela Portaria MS nº 635/Bsb, de 26 de dezembro de 1975, o método de destilação preliminar deve ser realizado considerando os seguintes passos:

Passo 1 - Coloque 400 mL de água destilada no frasco de destilação e cuidadosamente adicionar 200 mL de ácido sulfúrico concentrado. Agite até homogeneizar o conteúdo do frasco. Adicionar 25 a 35 pérolas de vidro e ligue o aparelho como mostra a figura, certificando-se que todas as juntas estão ajustadas.

Passo 2 - Comece aquecer lentamente, passando aos poucos a um aquecimento tão rápido quanto permitir o condensador (o destilado deverá sair frio) até que a temperatura do líquido contido no frasco atinja exatamente 180º C. Neste instante, pare a destilação e elimine o destilado. Este processo serve para remover qualquer contaminação do fluoreto e ajustar a relação ácida-água para destilações subsequentes.

Passo 3 - Após esfriar a mistura do ácido remanescente do item anterior ou de destilações prévias, até 120º C ou abaixo, adicione 300 mL da amostra, mistura cuidadosamente, e destile como descrito anteriormente até a temperatura atingir 180º C. Para prevenir o arraste de sulfato, não permita que a temperatura ultrapasse 180º C.

Passo 4 - Adicione sulfato de prata ao frasco de destilação na proporção de 5 mg por miligrama de cloreto, quando amostras de alto conteúdo em cloretos são analisadas.

Passo 5 - Use a solução de ácido sulfúrico repetidamente até que os contaminantes das amostras de água, acumuladas no frasco de destilação, comecem a interferir no destilado. Verifique a possibilidade de uso ácido periodicamente, destilando amostras conhecidas de fluoretos. Apos a destilação de amostras com altos teores de fluoretos, adicione 300 mL de água e continue a destilação combinando os destilados. Caso necessário repita a operação até que o conteúdo de fluoretos no destilado seja mínimo. Adicione ao primeiro destilado, os destilados subsequentes. Após períodos de inatividade, destile água e elimine o destilado, antes de destilar a amostra.

Interpretação dos Resultados - O fluoreto recuperado na destilação está quantitativamente dentro da precisão para a determinação.

Observação: Na mistura do ácido e água ocorre uma reação exotérmica, e portanto deve-se ter cuidado e sempre verter lentamente e com agitação o ácido na água.

10.3. Método Spadns

10.3.1. Equipamento

Espectrofotômetro que possa usar o comprimento de onda de 580 nm e um percurso ótico de 1 cm ou Fotômetro de filtro com percurso ótico de 1 cm equipado com filtro amarelo esverdeado com comprimento de onda máxima em 550 a 580 nm.

Observação: Poderá ser utilizado Espectrofotômetro previamente calibrado com curva especifica para íons fluoretos, cujos reagentes serão fornecidos pelo fabricante do equipamento.

10.3.2. Reagentes

a) Solução estoque de fluoreto:

- Solução de Fluoreto de sódio a 100 µg/mL - Dissolva 221,0 mg de fluoreto de sódio anidro (NaF), em água destilada e leve o volume para 1000 mL. Cada mL da solução contém 100 µg de F^-;

b) Solução padrão de fluoreto:

- Solução Padrão de Fluoreto - Dilua 100 mL da solução de Fluoreto de 100µg/mL para 1000 mL com água destilada. Cada mL conterá 10 µg de F^-;

c) Solução SPADNS

- Dissolva 958 mg SPADNS, em água destilada e dilua para 500 mL. Esta solução é estável indefinidamente se protegida de luz solar direta (solução A);
- Dissolva 133 mg de cloreto de zircônio octahidratado, $ZrOCl_2$. $8H_2O$ em cerca de 25 mL de água de água destilada. Adicione 350 mL de HCl conc. e dilua para 500 mL com água destilada (Solução B);
- Misture volumes iguais das Soluções A e B. Esta solução (SPADNS) é estável por 2 anos;

d) Solução de Referência

- Adicione 10 mL da solução de SPADNS a 100 mL de água destilada. Dilua 7 mL de HCl com água destilada e adicione à solução SPADNS. Esta solução é estável indefinidamente e será usada como ponto de referência para o espectrofotômetro ou o fotômetro. Esta solução poderá ser substituída por um dos padrões de fluoreto;

e) Solução de Arsenito de Sódio

- Dissolva 5,0 g de $NaAsO_2$ e dilua para 1000 mL com água destilada.

10.3.3. Procedimento

a) Preparação da curva padrão

- Prepare padrões de fluoretos na faixa de 0 a 1,40 mg/L diluindo quantidades apropriadas da solução padrão de fluoreto para 50 mL com água destilada. Pipete 5 mL do reagente ácido de zircônio e 5 mL do reagente SPADNS ou 10 mL do reagente misto de zircônio ácido - SPADNS em cada padrão e misture bem. Ajuste o fotômetro ou o espectrofotômetro ao zero de absorção com a solução de referência e imediatamente faça a leitura da absorção de cada um dos padrões. Trace a curva de calibração do seguinte modo: Caso as leituras sejam realizadas em transmitância utilize papel mono logarítmico ou semi logarítmico relacionando transmitância (ordenada) com concentração (abscissas). Obtidas leituras em absorbância correlacionar com as concentrações usando papel milimétrico.

Observações:

1. Caso a amostra contém cloro residual, remova-o pela adição de 1 gota (0,05 mL) da solução de arsenito de sódio para cada 0,1 mg de C1 e misture. Concentrações de arsenito de sódio de 1 300 mg/L produzem erros de 0,1 mg/L de F-;

2. Ajuste a temperatura da amostra para a mesma temperatura dos padrões.

10.3.4. Cálculos

A determinação de íon fluoreto, em mg/L, é obtida por meio da seguinte equação:

Equação 07

$$mg/L\ F = \frac{A}{mL\ da\ amostra} \times \frac{B}{C}$$

A= µg de fluoreto determinado;
B/C = é aplicada somente quando amostra for diluída;
B = Volume final da diluição;
C = alíquota tomada para diluição.

10.4. Método Visual da Alizarina

10.4.1. Equipamento

a) Tubos Nessler de 100 mL forma alta, ou

b) Comparador visual de cor.

10.4.2 Reagentes

a) Solução de Fluoretos

- Deverá ser preparada como indicada para o método SPADNS.

b) Reagente Zircônio-Alizanina

- Dissolva 300 mg de cloreto de zircônio octahidratado, $ZrOCl_2$. $8H_20$, em 50 ml de água destilada e coloque em balão volumétrico de 1000 mL. Dissolva 70 mg de 3 – alizarina sulfonato de sódio, também conhecida por vermelho de alizarina, em 50 mL de água destilada e adicione ao frasco de 1000 mL que já contém a solução de cloreto de zircônio. Deixe em repouso para clarear.

c) Solução ácida

- Dilua 101 mL de HCl concentrado para, aproximadamente, 400 mL com água destilada. Dilua, cuidadosamente, 33,3 mL de H_2SO_4 concentrado para 400 mL com água destilada. Após esfriar, misture as duas soluções.

d) Reagente ácido de Zircônio – Alizarina

- Adicione à solução ácida do item e a de zircônio-alizarina contida no balão de 1000 mL. Complete o volume com água destilada e misture. O reagente muda de cor, do vermelho ao amarelo em aproximadamente uma hora. Guardado e protegido da luz solar direta, é estável por 6 meses.

e) Solução de arsenito de sódio

- Deverá ser preparado do mesmo modo como indicado para o método SPADNS.

10.4.3. Procedimento

Conforme a Portaria nº 635/Bsb, de 26 de dezembro de 1975, o método visual da alizarina deve ser realizado conforme os passos a seguir:

a) Caso a amostra tenha cloro residual, remova-o adicionando 1 gota (0,05 mL) da solução de arsenito de sódio para cada 0,1 mg de Cl;

b) Preparação dos Padrões

- Prepare uma série de padrões diluindo volumes conhecidos da solução padrão de fluoreto de (10µg/mL) para 100 mL nos tubos Nessler. Escolha a faixa de padrões de modo a atingir a concentração da amostra. Quanto menor o intervalo entre as concentrações dos padrões maiores a precisão de análise. Geralmente usam-se intervalos de 50 µg /L.

c) Desenvolvimento da cor

- Encha um tubo Nessler de 100 mL com a amostra ou uma diluição desta quan do for necessário e iguale as temperaturas desta com a dos padrões. Adicione, a cada tubo, 5,00 mL do reagente ácido de zircônio - alizarina. Misture e compare as amostras com os padrões após 1 hora de repouso.

Equação 08

$$mg/L\ F = \frac{A}{mL\ da\ amostra} \times \frac{B}{C}$$

A= µg de fluoreto determinado;
B/C = é aplicada somente quando amostra for diluída;
B = Volume final da diluição;
C = alíquota tomada para diluição.

10.5. Método Eletrométrico

10.5.1 Princípio

Por meio de eletrodo específico que pode ser acoplado a um potenciômetro com escala expandida em milivolts, o elemento cristal de fluoretos estabelecerá um potencial pela presença de íons fluoretos. Essa medição serve para medir atividade ou concentração de fluoreto em amostra de água mediante a uma curva padrão apropriada.

10.5.2. Interferentes

Cátions polivalentes tais como Al $(^{+++})$, Fe $(^{+++})$ e Si $(^{++++})$ formam complexos com o íon fluoreto. A formação dos complexos depende do pH da solução e dos níveis de relação entre o fluoreto e os tipos de complexos em presença de concentrações de alumínio acima de 2 mg/L. Em soluções ácidas, o íon hidrogênio forma complexo com o íon fluoreto, mas o complexo é desprezível se o pH for ajustado acima de cinco. Em soluções alcalinas o íon hidroxila interfere com a resposta de elétrodo em função de íon fluoreto, sempre que o nível de hidroxila for maior do que um décimo do nível de íon fluoreto presente. Entretanto, a um pH igual ou menor que oito, a concentração de hidroxila é igual ou menor que 10^{-6} molar e nesse caso não haverá interferência para qualquer concentração de fluoretos debitáveis.

10.5.3. Equipamentos

- Potenciômetro com escala expandida microprocessado digital;
- Eletrodo específico para determinação de íon fluoreto;
- Agitador magnético.

10.5.4 .Reagentes

a)Solução estoque de fluoreto:

- Solução de Fluoreto de 100 µ/mL - Dissolva 221,0 mg de fluoreto de sódio anidro (NaF), em água destilada e leve o volume para 1000 mL. Cada mL da solução contém 100 µg de F^-;

b)Solução padrão de fluoreto:

- Dilua 100 mL da solução de Fluoreto de 100µg/mL para 1000 mL com água destilada. Cada mL conterá 10 µg de F^-;

c)Solução Tampão:

- Coloque aproximadamente 500 mL de água destilada em um Becker de 1000 mL; Adicione 57 mL de ácido acético glacial, 58g de cloreto de sódio (NaCl);
- Adicione 4g de ácido 1,2 ciclohexilenodiaminotetracético (CDTA). Agite até dissolver;

- Coloque o Becker em um banho de água para esfriar;
- Adicione cerca de 125 mL de hidróxido de sódio 6N lentamente; com agitação,até que o pH esteja entre 5,0 a 5,5;
- Transfira balão volumétrico de 1000 mL e leve o volume até a marca com água-destilada;

10.5.5. Procedimento

a) Calibração do instrumento

- Quando se usa um potenciômetro deve-se ajustar o controle de calibração de tal forma que o padrão de mg/L de flúor marque 0 (zero) (100 milivolts), quando o medidor está na escala expandida. No caso de se usar um medidor de eletrodo de íon específico deve-se seguir a instrução do fabricante para calibração do aparelho;

b) Preparação de Padrões de Fluoreto

- Pipete 2,00; 4,00; 6,00; 8,00; 10,00; 12,00; 16,00; 20,00 mL da solução padrão de fluoreto em uma série de balões volumétricos de 100 mL. A cada balão adicione 50 mL de solução tampão e leve os volumes a 100 mL com água destilada. Misture bem. Cada ml conterá respectivamente 0,20; 0,40; 0,60; 0,80; 1,00; 1,60; e 2,00 mg/L;

d) Tratamento da amostra

- Coloque 50 mL da amostra em balão volumétrico de 100 mL e complete o volume com a solução tampão, para o ajuste da força iônica total. Misture bem. Mantenha os padrões e a amostra na mesma temperatura;

e) Medição com o eletrodo

- Transfira os padrões e a amostra para uma série de beckers de 150 mL. Mergulhe os elétrodos em cada becker e mensure o potencial desenvolvido enquanto a agitação é mantida por meio de um agitador magnético. Evite a agitação das soluções antes da imersão do elétrodo porque se bolhas de ar aderirem aos eletrodos poderão produzir leituras errôneas, flutuação dos ponteiros ou oscilação no display. Espere 3(três) minutos antes de efetuar a leitura. Lave o elétrodo com água destilada e o enxugue entre cada leitura.

Observações:
• Ao usar um potenciômetro de escala ampliada ou um medidor específico, recalibre frequentemente o elétrodo repetindo a leitura do padrão de 1,00 mg/L e ajustando o controle de calibração, se necessário, confirmar a calibração depois da leitura de cada um dos padrões e cada uma das amostras.

• Deve-se sempre calibrar o potenciômetro mesmo que seja microprocessado e com automação.

10.5.6. Cálculos

Colocar em gráfico o potencial medido em milivolts contra as concentrações dos padrões, em mg/L ou em µg de flúor. A concentração é obtida entrando-se na curva de calibração com a leitura do potencial obtido. A determinação de íons fluoreto é obtida por meio da seguinte equação:

Equação 09

$$mg\ /\ L\ \ F = \frac{\mu g\ \ F}{mL\ \ da\ amostra}$$

Fonte: Portaria MS nº 635/Bsb, 26 de dezembro de 1975.

Referências bibliográficas

BATALHA, BenhurLuttenlarck. Aspectos históricos e técnicos da fluoretação das águas. Revista DAE, São Paulo, v. 44, n. 136, mar. 1984.

BRASIL. Decreto nº 76.872, de 22 de dezembro de 1975. Regulamenta a Lei nº 6.050, de 24 de maio de 1974, que dispõe sobre a fluoretação da água em sistemas públicos de abastecimento. Diário Oficial da União, Poder Executivo, Brasília, DF, 23 dez. 1975a.

_____. Lei nº 6.050, de 24 de maio de 1974. Dispõe sobre a fluoretação da água em sistema de abastecimento quando existir estação de tratamento. Diário Oficial da União, Poder Executivo, Brasília, DF, 27 maio 1974.

_____. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde. Manual técnico de análise de água para consumo humano. Brasília, 1999.

_____. Ministério da Saúde. Fundação Oswaldo Cruz. Análises físico, químicas e bacteriológicas da água. Rio de Janeiro: Ensp, 1995.

_____. Ministério da Saúde. Portaria nº 2.914, de12 de dezembro de 2011. Estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade daágua para consumo humano e seu padrão de potabilidade, e dá outras providências. Diário Oficial da União, Poder Executivo, Brasília, DF, 14 de dezembro 2004.

_____. Ministério da Saúde. Portaria nº 635, de 26 de dezembro de 1975. Aprovanormas e padrões sobre fluoretação da água dos sistemas públicos de abastecimento,destinada ao consumo humano. Diário Oficial da União, Brasília, Poder Executivo, DF,26 dez. 1975b.

_____. Ministério da Saúde. Portaria nº 1.437, de 14 de dezembro de 1990. Cria oPrograma Nacional de Controle da Cárie pelo método de fluoretação do sal. DiárioOficial da União, Brasília, Poder Executivo, DF, 17 dez. 1990.

_____. Ministério da Saúde. Secretaria Nacional de Programas Especiais de Saúde. Divisão Nacional de Saúde Bucal. Levantamento epidemiológico em saúde bucal: Brasil,zona urbana, 1986. Brasília, 1988.

_____. Ministério da Saúde. Secretaria Nacional de Programas Especiais de Saúde. Divisão Nacional de Saúde Bucal. Política Nacional de Saúde Bucal: princípios,objetivos, prioridades. Brasília, 1989.

_____. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resoluçãonº 20, de 86. Dispõe sobre a classificação das águas doces, salobras e salinas doTerritório Nacional. Diário Oficial da União, Poder Executivo, Brasília, DF, 30 jul. 1986.

BUENDIA, Osvaldo Carro. Fluoretação de águas: manual de orientação prática. São Paulo: American Med, 1996.

BUZALAF, M.A.R. Fatores de risco para fluorose dentária ebiomarcadores de exposição ao flúor. Bauru, 2002b. Dissertação (Livre-Docente) - Faculdade de Odontologia de Bauru, Universidade de São Paulo.CASTELO BRANCO, Z. Cone de saturação para fluoretação da água. Revista daFundação Sesp, Rio de Janeiro, 1989.

EKSTRAND, J. Fluoride metabolisnº.In: FEJERSKOVO, Ekstrand. Fluoride in dentistry.2nded. Copenhagen: Munksgaard, 1996. p. 55-68.

MURRAY, J. J. O uso correto de fluoretos na saúde pública. São Paulo: Santos, 1992.
ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD. Guias para lacalidaddel agua potable:recomendaciones. 2. ed.Ginebra, 1995. v. 1.

_____. Procedimientos analíticos para ladeterminación de fluoruros. Washington, 1976. (Documento FDH/43).ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE LA SALUD. Guias para lacalidaddelágua potable: criterios relativos a lasalud y otrainformación de base. Washington, 1987. v.2.

RAMIRES, I.; BUZALAF, M. Manual: flúor e fluoretação da água de abastecimentopúblico. Bauru: [s.n.], 2005. 155 p.

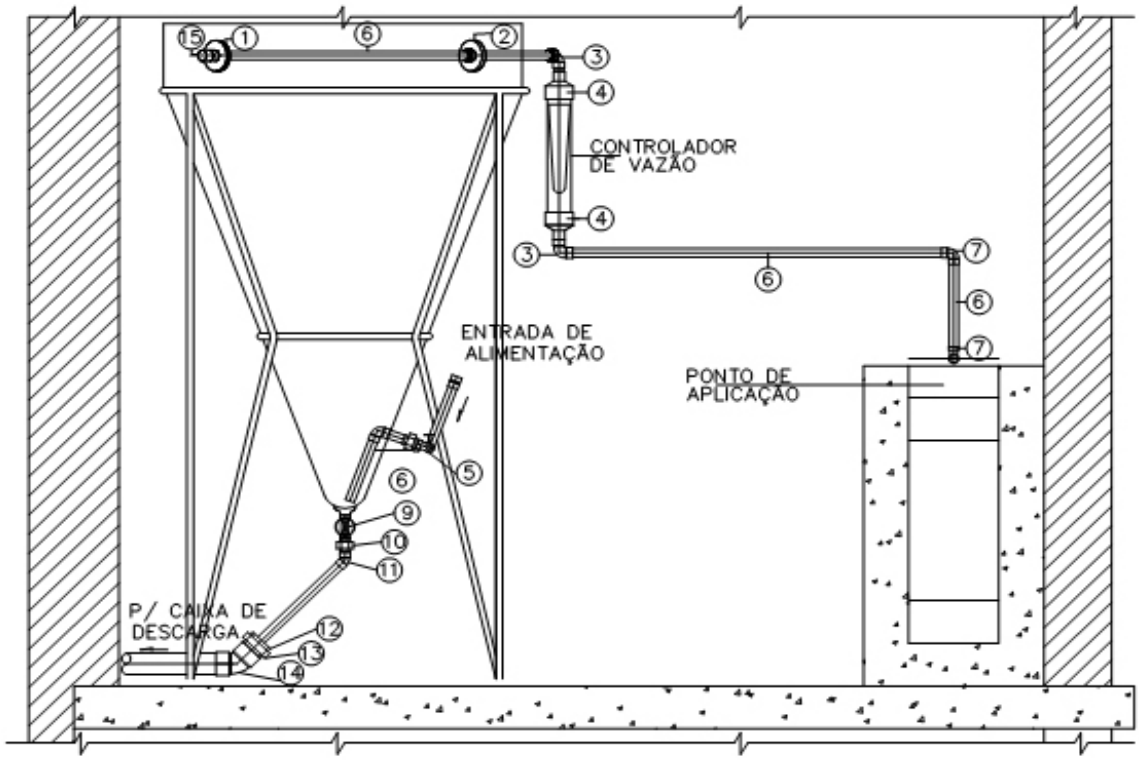
THYLSTRUP, A. Clinical evidence of the role of pre-eruptive fluoride incaries prevention.J Dent Res, v.69 (Specialissue). p.742-50, 1990.

VIEGAS, A. R.; VIEGAS, I.; CASTELLANOS, R. A. Fluoretação da água de abastecimento-público. Revista da Associação Paulista de Cirurgiões Dentistas, São Paulo, v. 41, n. 4,p. 2002-2004.

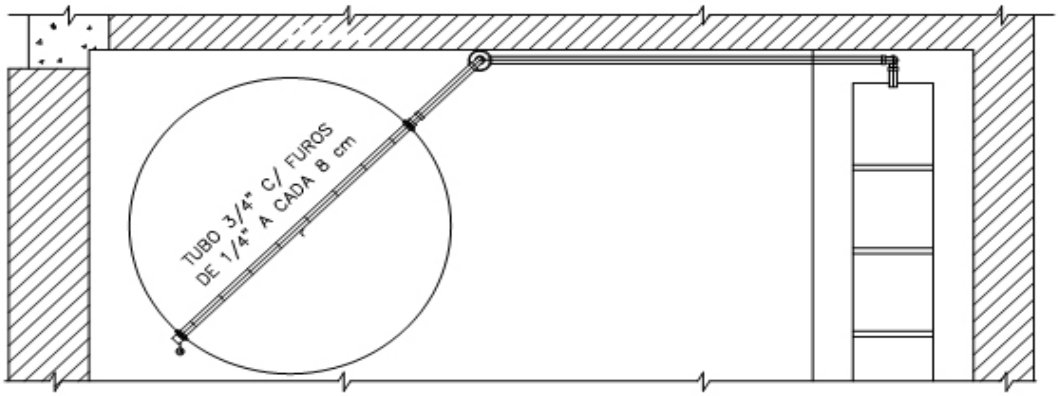
WHITFORD, G. M. The metabolisn and tocixixity of fluoride.2. ed. Basel: Karger, 1996.

Anexo A - Desenhos esquemáticos do cone de saturação

Vista lateral da instalação do cone de saturação



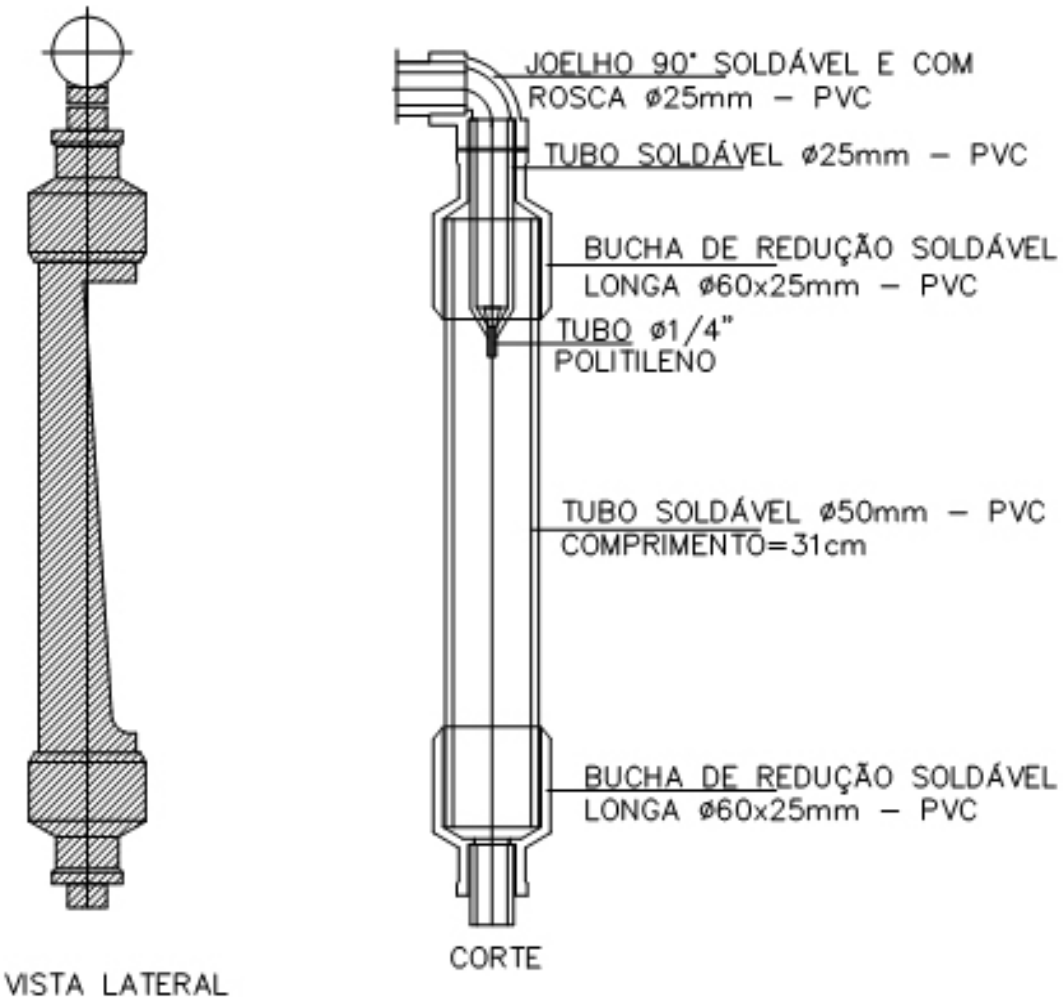
Vista superior da instalação do cone de saturação



RELAÇÃO MATERIAL (PVC)

① FLANGE COM SEXTAVADO COM ROSCA ø3/4"
② ADAPTADOR COM ROSCA E FLANGE ø3/4"
③ JOELHO 90° SOLDÁVEL E COM ROSCA ø25mm
④ BUCHA DE REDUÇÃO SOLDÁVEL LONGA ø60x25mm
⑤ REGISTRO DE PRESSÃO COM ROSCA E REFORÇO DE FERRO ZINCADO
⑥ TUBO PVC ø3/4"COM ROSCA
⑦ JOELHO 90° COM ROSCA ø3/4"
⑧ LUVA COM ROSCA ø3/4"
⑨ REGISTRO COM ROSCA 90° COM VOLANTE ø3/4"
⑩ NÍPEL PARALELO COM ROSCA ø3/4"
⑪ JOELHO 45° COM ROSCA ø3/4"
⑫ BUCHA DE REDUÇÃO COM ROSCA ø1.1/2"x3/4"
⑬ BUCHA DE REDUÇÃO COM ROSCA ø2"x1.1/2"
⑭ JOELHO 45° COM ROSCA ø2"
⑮ CAP COM ROSCA ø3/4"

Detalhe do controlador de vazão


JOELHO 90° SOLDÁVEL E COM ROSCA ø25mm – PVC
TUBO SOLDÁVEL ø25mm – PVC
BUCHA DE REDUÇÃO SOLDÁVEL LONGA ø60x25mm – PVC
TUBO ø1/4" POLITILENO
TUBO SOLDÁVEL ø50mm – PVC COMPRIMENTO=31cm
BUCHA DE REDUÇÃO SOLDÁVEL LONGA ø60x25mm – PVC
CORTE
VISTA LATERAL

Anexo B - Portaria nº 635/Bsb. de 26 de dezembro de 1975

O Ministro de Estado da Saúde, no uso das atribuições que lhe confere o artigo do Decreto no 76.872 de 22 de dezembro de 1975, e tendo em vista o disposto na Lei no 6.050 de 24 de maio de 1974, RESOLVE:

I) Aprovaras Normas e Padrões, a seguir, sobre a fluoretação da água dos sistemas públicos de abastecimento, destinada ao consumo humano.

II) Para efeito desta Portaria são adotadas as seguintes definições:

1. Fluoretação - Teor de concentração do íon fluoreto presente na água destinada ao consumo humano, apto a produzir os efeitos desejados à prevenção da cárie dental.

2. Íon - Átomos ou grupo de átomos dotados de carga elétrica.

3. Concentração de íon fluoreto - Relação entre a massa do íon fluoreto dissolvida na água e a massa da solução, geralmente expressa em partes por milhão (ppm) que representa miligramas de íon flúor por quilograma de solução. Para efeito desta norma admite-se que 1 litro de água, pesa 1 quilograma; portanto ppm = 1 mg/litro.

4. Composto Fluoretado - Qualquer composto químico que contenha em sua composição o íon fluoreto (f).

5. Dosador de Produtos Químicos - Equipamento que lança na água quantidades predeterminadas de produtos químicos.

6. Dosagem por Solução - Aquela na qual o produto químico é medido como volume de solução.

7. Dosagem a Seco - Aquela na qual uma quantidade medida de um composto químico seco é descarregada por um dosador durante um determinado intervalo de tempo.

8. Dosador a Seco Volumétrico - Equipamento que descarrega volume específico (cm^3 , dm^3, etc.) de produto químico, durante um determinado intervalo de tempo.

9. Dosador a Seco Gravimétrico - Equipamento que descarrega um certo peso (g, Kg, etc.) de produto químico durante um determinado intervalo de tempo.

10. Prevalência de Cárie Dental - Quantidade desta afeção existente numa comunidade ou num indivíduo em dado momento.

III) Os sistemas públicos de abastecimento de água fluoretada deverão obedecer aos seguintes mínimos:

1. Abastecimento contínuo da água distribuída à população, em caráter regular e sem interrupção.

2. A água distribuída deve atender os padrões de potabilidade.

3. Sistemas de operação e manutenção adequados.

4. Sistema de controle rotineiro da qualidade da água distribuída.

IV) A concentração recomendada de íon fluoreto nas águas de abastecimento público é obtida pela seguinte fórmula:

$$C\ mg/L = \frac{22,2}{E}$$

$E = 10,3 + 0,725\ T$

T = média de Temperatura máxima diárias observadas durante um período mínimo de 1 ano (recomendado 5 anos) em graus centígrados.

V) Os limites recomendados para a concentração do íon fluoreto em função da média das Temperaturas máximas diárias são os indicados no Quadro I, que acompanha esta Portaria.

VI) Os compostos químicos de flúor que podem ser empregados nos sistemas públicos de abastecimento de água são os indicados no Quadro II, que acompanha esta Portaria.

VII) Os métodos de análise e procedimentos para determinação da concentração do íon fluoreto na água são os indicados nos subitens seguintes, e a descrição dos mesmos as constantes do Anexo, sua Tabela e Figura.

1. Métodos analíticos

1.1. Eletrométricos

1.2. SPADNS (fotométrico)

1.3. Visual da Alizarina

Observação: Para os dois últimos deverão ser realizadas a destilação prévia das amostras com o objetivo de eliminar os interferentes, caso seja necessário.

2. Procedimentos

2.1. Para a determinação do teor do íon fluoreto, as águas bruta e fluoretada deverão ser analisadas, por um dos métodos discriminados no Anexo, sua Tabela e Figura.

2.2. A frequência diária das análises a serem efetuadas dependerá da complexidade e porte do sistema de água.

2.3. O controle (diário e mensal) a ser exercido sobre a água, conterá, obrigatoriamente, os seguintes elementos:

2.3.1. Cidade

2.3.2. Estado

2.3.3. Dia, mês e ano

2.3.4. Responsável pela análise

2.3.5. Dose ótima de flúor

2.3.6. Método de análise (com ou sem destilação)

2.3.7. Composto de flúor empregado

2.3.8. Vazão do sistema

2.3.9. Teor do íon fluoreto natural

2.3.10. Quantidade de composto de flúor agregado (diário)

2.3.11. Teor diário do íon fluoreto na água fluoretada.

VIII) Os tipos e precisão dos equipamentos tolerados para dosagem dos compostos de flúor são os seguinte:

1. Tipos

1.1. De solução

1.2. A Seco (volumétrico e gravimétrico)

2. Precisão

2.1. O equipamento para dosagem dos compostos fluoretados por via úmida deverão permitir no máximo um erro de 0,1 mg/L a um nível de 1 mg/L, ou seja 10% para mais ou menos.

2.2. Nos equipamentos para dosagem dos compostos fluoretados por via seca será tolerada uma oscilação para mais ou menos de no máximo 3 a 5% no tipo volumétrico e de 1 a 2% no tipo gravimétrico.

IX) As técnicas de fluoretação de acordo com o composto químico a utilizar, em função da vazão do sistema com a dosagem a seco ou por via úmida, são as descritas no quadro III, que acompanham esta Portaria, indicativos dos compostos químicos, vazão 1/s, equipamentos requeridos, espécies de produtos químicos, manuseio, pontos de aplicação e cuidados especiais.

Esta Portaria entrará em vigor na data de sua publicação no Diário Oficial da União.
Paulo de Almeida Machado

Este texto não substitui o publicado no DOU de 30 de janeiro de 1976, p.1455, Seção 1

Anexo da Portaria nº 635

Métodos de análise e procedimentos para determinação de íon fluoreto na água

1. Considerações Gerais

Entre os diversos métodos para determinação do íon fluoreto na água, os eletrométricos e os colorimétricos são atualmente considerados os mais satisfatórios, Os métodos colorimétricos são baseados na reação entre o fluoreto e a laca de zircônio com um corante orgânico. O fluoreto forma um complexo ZrF_6^{2-} que é incolor. A proporção que quantidade de íon fluoreto cresce, a coloração da laca decresce ou modifica seu matiz.

Como todos os métodos colorimétricos estão sujeitos a erros provocados por íons interferentes na amostra é necessário destilá-la antes de se fazer a determinação do fluoreto. Se os interferentes presentes na amostra estão em concentrações baixas, não será necessário destilá-la podendo-se passar diretamente aos métodos colorimétricos.

2. Seleção do Método

A adição de um tampão de citrato livra o método eletrométrico de interferentes, tais como íons de alumínio, hexametafosfato, ferro e ortofosfato, que nos métodos colorimétricos são eliminados por destilação preliminar.

Ambos os métodos colorimétricos são aplicáveis a amostras contendo teores de fluoreto na faixa 0,05 a 1,4 mg/L enquanto que o método eletrométrico é aplicável para teores de 0,1 5 mg/L.

Com a aplicação dos métodos SPADNS e eletrométrico os resultados são lidos imediatamente, enquanto que, com o de alizarina, é necessário esperar 1 hora após a adição do corante para o desenvolvimento da cor.

Os métodos SPADNS e eletrométrico necessitam equipamentos, enquanto o visual de alizarina necessita apenas vidraria de laboratório. Padrões permanentes para o método visual poderão ser usados, mas precauções especiais deverão ser tomadas pelo analísta.

3. Interferentes nos Métodos Colorimétricos

Em geral os métodos colorimétricos estão sujeitos aos mesmos interferentes, variando apenas os graus. A tabela indicada as substâncias que comumente interferem nos dois métodos. Estas interferências não são aditivas. A amostra deverá ser previamente destilada quando qualquer substância presente cause interferência, cujo erro seja de 0,1 mg/L,ou quando houver dúvida no efeito. A destilação também é recomendada para as amostras coloridas ou turvas. Algumas vezes pode-se diluir a amostra ou neutralizá-la, quando for o caso, para diminuir os efeitos interferentes.

O cloro interfere em todos os métodos colorimétricos e deverá ser removido.

Nos métodos colorimétricos volumes e temperaturas são críticos e devem ser medidos com precisão, pois deles dependem os resultados.

4. Amostragem

Frascos de polietileno são preferíveis na coleta de amostras de água para análise de fluoretos.

Frascos de vidro são satisfatórios desde que se evite usar frascos que contiveram soluções concentradas de fluoretos. Em todos os casos, deverá ser adotada a prática de lavar inicialmente os frascos com água que vai ser analisada.

Caso se aproveitem na determinação de fluoretos amostras colhidas para exames bacteriológicos, deve-se tomar precauções quanto às substâncias usadas para eliminar cloro, pois o tiosulfato, em concentrações de 100 mg/L, interfere produzindo precipitado.

5. Tabela

Substância Interferente	MétodoSpands		Método Visual de Alizarina	
	Conc. mg/L	Tipo de Erro	Conc.mg/L	Tipo de Erro
Alcalinidade ($CaCO_3$)	5.000	-	400	-
Alumínio (Al^{+++})	0,1	-	0,25	-
Cloreto (Cl^-)	7.000	+	2.000	-
Ferro (Fe^{+++})	10	-	2	+
Hexametafosfato ($NaPO_3)_6$	1,0	+	1,0	+
Fosfato (PO_4^{-})	16	+	5	+
Sulfato (SO_4^{-})	200	+	300	+

6. Destilação Preliminar

6.1. Discussão - Por meio de destilação, o íon fluoreto pode ser separado dos outros elementos existentes nas águas, na forma de ácido fluossílico ou fluorícico ou fluorídrico. A recuperação quantitativa do fluoreto se obtém usando amostras relativamente grandes e sob altas temperaturas.

6.2. Equipamento - O aparelho de destilação (figura) consiste: de um balão de vidro pirex, com capacidade de um litro, fundo redondo e pescoço longo, de um tubo de conexão; de um condensador eficiente, e de um termômetro com escala de 0º a 200º C. Qualquer outro destilador semelhante ao da figura poderá ser usado. Os pontos críticos a serem observados são aqueles que afetam a completa recuperação dos fluoretos, tais como obstruções do vapor etc., e condições que podem aumentar o arraste do sulfato. Deste modo, pode-se usar anteparos de asbesto para proteger da chama a parte superior do balão de destilação. Pode-se modificar este aparelho de modo a desligar automaticamente quando a destilação acabar.

6.3. Reagentes

a) ácido sulfúrico concentrado

b) sulfato de prata cristalizado

6.4. Procedimento

a) Coloque 400 ml de água destilada no frasco de destilação e cuidadosamente adicionar 200 ml de ácido sulfúrico concentrado. Agite até homogeinizar o conteúdo do frasco. Adicionar 25 a 35 pérolas de vidro e ligue o aparelho como amostra a figura, certificando-se que todas as juntas estão ajustadas. Comece aquecer lentamente, passando aos poucos a um aquecimento tão rápido quanto rápido permitir o condensador (o destilado deverá sair frio) até que a temperatura do líquido contido no frasco atinja exatamente 180^{O} C. Neste instante para destilação e elimine o destilado. Este processo serve para remover qualquer contaminação do fluoreto e ajustar a relação ácido-água para destilações subsequentes.

b) Após esfriar a mistura do ácido remanescente do item anterior ou de destilações prévias, até 120^{O} C ou abaixo, adicione 300 ml da amostra, mistura cuidadosamente, e destile como descrito anteriormente até a temperatura atingir 180^{O} C. Para prevenir o arraste de sulfato, não permita que a temperatura ultrapasse 180^{O} C.

c) Adicione sulfato de prata ao frasco de destilação na proporção de mg por miligrama de cloreto, quando amostras alto conteúdo em cloretos são analisadas.

d) Use a solução de ácido sulfúrico repetidamente até que os contaminantes das amostras de água, acumuladas no frasco de destilação, comecem a interferir no destilado. Verifique a possibilidade de uso ácido periodicamente, destilando amostras conhecidas de fluoretos. Apos a destilação de amostras com altos teores de fluoretos, adicione 300 ml de água e continue a destilação combinando os destilados. Se necessário repita a operação até que o conteúdo de fluoretos no destilado seja mínimo. Adicione ao primeiro destilado, os destilados subsequentes. Após períodos de inatividade, destile água e elimine o destilado, antes de destilar a amostra.

6.5. Interpretação dos Resultados - O fluoreto recuperado na destilação está quantitativamente dentro da precisão dos métodos usados para a determinação.

7. Método Eletrométrico

7.1. Interferentes - Cátions polivalentes tais como Al ($^{+++}$), Fe ($^{+++}$) e Si ($^{++++}$) formam complexos com o íon fluoreto. a formação dos complexos depende do pH da solução e dos níveis de relação entre o fluoreto e os tipos de complexos. Em presença de concentrações de alumínio acima de 2mg/L, o íon citrato numa solução tempão, preferentemente formará complexos com o alumínio, acima de mg/L, o íon citrato numa solução tampão, preferentemente formará complexos com o alumínio, libertando o íon fluoreto. Em soluções ácidas, o íon hidrogênio forma complexo com o íon fluoreto, mas o complexo é desprezível se o pH for ajustado acima de 5. Em soluções alcalinas o íon hidroxila interfere com a resposta de eletrodo em função de íon fluoreto, sempre que o nível de hidroxila for maior do que um décimo do nível de íon fluoreto presente. Entretanto, a um pH igual ou menor que 8, a concentração de hidroxila é igual ou menor que 10- 6 molar e neste caso não haverá interferência para qualquer concentração de fluoretos detectáveis.

7.2. Equipamento

a) Potenciômetro com escala de pH ampliada ou um medidor específico de íons que possua um milivoltímetro ou outra escala apropriada além da de pH.

b) Eletrodo tipo Beckmanno 40463 ou Cerning no 47012 ou Orion no 900100 ou outro semelhante.

c) Eletrodo especial para fluoretos.

d) Agitador magnético com barra agitadora revestida de teflon.

e) Cronômetro.

7.3. Reagentes

a) Solução de Fluoreto de 100 µg/ml - Dissolva 221,0mg de fluoreto de sódio anidro (NaF), em água destilada e leve o volume para 1000 ml. Cada ml da solução contém 100 µg de F.

b) Solução Padrão de Fluoreto - Dilua 100 ml da solução de Fluoreto de 100 µg/ml para 1000 ml com água destilada. Cada ml conterá 10 µg de F.

c) Solução Tampão (TISAB) - Coloque aproximadamente 500 ml de água destilada em um becker de 1000 ml. Adicione 57 ml de ácido acético glacial, 58 g de cloreto de sódio (Na Cl) e 12 g de citrato de sódio bi-hidratado. ($Na_3C_6H_50_7.2\ H_20$). Agite até dissolver. Coloque o becker em um banho de água para esfriar, coloque o elétrodo de pH e o de referência e leve o pH para 5,0 a 5,5 com hidróxido de sódio 6N (125 ml aproximadamente). Esfrie para temperatura ambiente.

Coloque num balão volumétrico de 1000 ml e leve o volume até a marca com água destilada.

7.4. Procedimento

a) Calibração do instrumento - Não é necessário fazer calibrações nos potenciômetros quando a faixa de fluoretos é de 0,2 a 2,0 mg/L.

b) Preparação de Padrões de Fluorato-Pipete 2,00; 4,00; 6,00; 8,00; 10,00; 12,00; 16,00; 20,00 ml da solução padrão de fluoreto em uma série de balões volumétricos de 100 ml. A cada balão adicione 50 ml de solução tampão e leve os volumes a 100 ml com água destilada. Misture bem. Cada conterá respectivamente 0,20; 0,40; 0,60; 0,80; 1,00; 1,60; e 2,00 mg/litro.

c) Tratamento da amostra - Coloque 50 mL da amostra em balão volumétrico de 100 ml e complete o volume com a solução tampão. Misture bem. Mantenha os padrões e a amostra na mesma temperatura, preferentemente na de calibração dos balões.

d) Medida com o eletrodo - Transfira os padrões e a amostra para uma série de beckers de 150 ml. Mergulhe os eletrodos em cada becker e meça o potencial desenvolvido enquanto a agitação é mantida por meio de um agitador magnético. Evite a solução antes da imersão dos elétrodos porque se bolhas de ar aderiram aos eletrodos poderão produzir

leituras errôneas ou flutuação dos ponteiros. Espere 3 minutos antes de ler no milivotímetro. Lave os eletrodos com água destilada e enxugue-se entre cada leitura.

Quando usar um potenciômetro de escala ampliada ou um medidor específico, recalibre frequentemente o eletrodo verificando a leitura de 1,00 mg/L (100 µg F) da solução padrão e ajustando o controle de calibração.

Faça um gráfico em papel semilogarítmico de 2 ciclos e leitura em milivolts contra µg F da solução padrão.

7.5. Cálculos

$$\text{mg/L F} = \frac{\text{µg F}}{\text{mL da amostra}}$$

8. Métodos Spadns

8.1. Equipamento

a) Espectrofotômetro que possa usar o comprimento de onda de 510 nm e tenha uma passagem de luz de pelo menos 1 cm.

b) Fotômetro de filtro com passagem de luz de pelo menos 1 cm equipado com filtro amarelo esverdeado tendo transmitância máxima em 550 a 580 nm.

8.2. Reagentes

a) Solução padrão de fluoreto - deverá ser preparada na forma indicada em 7.4.5 do método eletrométrico.

b) Solução SPADNS - dissolva 958mg SPADNS, 2 - parasulfofenilazo - 1,8 dihidróxi 3,6 - naftaleno dissulfonato de sódio, também chamado 4,5 - dihidróxi – 3 parasulfofenilazo 2,7 naftaleno disulfanatotrissódico, em água destilada e dilua para 500 ml. Esta solução é estável indefinidamente se protegida de luz solar direta.

c) Reagente ácido de zirconila -dissolva 133 mg de cloreto de zircônio octahidratado, $Zr0Cl_2$. $8H_20$ em cerca de 25 ml de água destilada. Adicione 350 ml de HCI conc. e dilua para 500 ml com água destilada.

d) Reagente ácido de zirconila - SPADNS - misture volumes iguais de soluções SPADNS e ácido de zirconila. Esta solução é estável por 2 anos.

e) Solução de Referência - Adicione 10 ml da solução de SPADNS a 100 ml de água destilada. Dilua 7 ml de HCP com água destilada e adicione à solução SPADNS. Esta solução é estável indefinidamente e será usada como ponto de referência para o espectrofotômetro ou o fotômetro. Esta solução poderá ser substituída por um dos padrões de fluoreto.

f) Solução de arsenito de sódio - dissolva 5,0 g de $NaAsO_2$ e dilua para 1000 mL com água destilada.

8.3. Procedimento

a) Preparação da curva padrão - preparo padrões de fluoretos na faixa de 0 a 1,40 mg/L diluído quantidades apropriadas da solução padrão de fluoreto para 50 ml com água destilada. Pipete 5 ml do reagente ácido de zirconila e 5ml do reagente SPADNS ou 10 ml do reagente misto de zirconila ácida - SPADNS em cada padrão e misture bem. Ajuste o fotômetro ou o espectrofotômetro ao zero de absorção com a solução de referência e imediatamente faça a leitura da absorção de cada um dos padrões. Faça um gráfico da curva da concentração de fluoretos versus absorção. Prepare nova curva padrão sempre que novos reagentes tenham que ser preparados. Se não for usada solução de referência, calibre o espectrofotômetro ou fotômetro para algum ponto da curva com um padrão de fluoreto.

b) Pré-tratamento da amostra - se a amostra contém cloro residual, remova-o pela adição de 1 gota (0,05 ml) da solução de arsenito de sódio para cada 0,1 mg de Cl e misture. Concentrações de arsenito de sódio de 1 300 mg/L produzem erros de 0,1 mg/L de F. Ajuste a temperatura para a mesma da curva padrão. Adicione 5 ml da solução SPADNS e 5 ml da solução ácida de zirconila ou 10 ml da solução mista de zirconila ácida - SPADNS. Misture bem o leite imediatamente a absorção, ajustando primeiro o fotômetro ou espectrofotômetro ao ponto de referência. Se a absorção estiver fora da curva padrão, repita a operação diluindo a amostra.

8.4. Cálculos

$$mg/L \quad F = \frac{A}{\text{ml da amostra}} \times \frac{B}{C}$$

A= µg de fluoreto determinado;
B/C = é aplicada somente quando amostra for diluída;
B = Volume final da diluição;
C = alíquota tomada para diluição.

9. Método Visual da Alizarina

9.1. Equipamento

a) Série de tubos Nessler de 100 mL, ou

b) Comparador visual de cor

9.2. Reagentes

a) Solução de Fluoretos - deverá ser preparada como indicada para o método

b) Reagente Zircônio-Alizanina - dissolva 300 mg de cloreto de zircônio octahidratado, $ZrOCl_2.8H_2O$, em 50 ml de água destilada e coloque em balão volumétrico de 1000 ml. Dissolva 70 mg de 3 - alizarinasulfonato de sódio, também conhecida por vermelho

de alizarina, em 50 mL de água destilada e adicione ao frasco de 1000 ml que já contém a solução de cloreto de zircônio. Deixe em repouso para clarear.

c) Solução ácida - dilua 101 ml de HCl concentrado para, aproximadamente, 400 ml com água destilada. Dilua, cuidadosamente, 33,3 ml de H_2S0_4 concentrado para 400 mL com água destilada. Após esfriar, misture as duas soluções.

d) Reagente ácido de Zircônio - Alizarina - adicione à solução ácida do item e a de zircônio-alizarina contida no balão de 1000 ml. Complete o volume com água destilada e misture. O reagente muda de cor, do vermelho ao amarelo em aproximadamente uma hora. Guardado e protegido da luz solar direta, é estável por 6 meses.

e) Solução de arsenito de sódio - deverá ser preparado do mesmo modo como indicado para o método SPADNS.

9.3 Procedimento

a) Pré-tratamento da amostra se a amostra contém cloro residual, remova-o adicionando 1 gota (0,05 mL) da solução de arsenito de sódio para cada 0,1 mg de Cl.

b) Preparação dos Padrões - Prepare uma série de padrões diluindo volumes conhecidos da solução padrão de fluoreto de 10 mg para 100 ml nos tubos Nessler. Escolha a faixa de padrões de modo a atingir a concentração da amostra. Quanto menor o intervalo entre as concentrações dos padrões maior a precisão de análise. Geralmente usa-se intervalos de 50 ug/l.

c) Desenvolvimento da cor - encha um tubo Nessler de 100ml com a amostra ou uma diluição desta quando for necessário e iguale as temperaturas desta com a dos padrões. Adicione, a cada tubo, 5,00 ml do reagente ácido de zircônio - alizarina. Misture e compare as amostras com os padrões após 1 hora de repouso.

9.4 Cálculos

$$mg/L \quad F = \frac{A}{\text{ml da amostra}} \times \frac{B}{C}$$

A= mg de fluoreto determinado visualmente;
B/C = é aplicada somente quando houver a necessidade de diluir o volume C da amostra para o volume B final.

Quadro I - Limites recomendados para a concentração do íon fluoreto em função da média das temperaturas máximas diárias

Média das temperaturas máximas diárias do ar (ºC)	Limites recomendados para a concentração do íon fluoreto (mg/l)		
	mínimo	máximo	ótimo
10,0- 12,1	0,9	1,7	1,2
12,2- 14,6	0,8	1,5	1,1
14,7- 17,7	0,8	1,3	1,0
17,8- 21,4	0,7	1,2	0,9
21,5- 26,3	0,7	1,0	0,8
26,8- 32,5	0,6	0,8	0,7

Quadro II - Compostos de Flúor

Podem ser empregados:

Características	Fluoreto de Cálcio (Fluorita) CaF_2	Fluossilicato de Sódio Na_2SiF_6	Fluoreto do Sódio NaF	Ácido Fluossilícico H_2SiF_6
Forma	Pó	Pó ou cristais finos	Pó ou cristal	líquido
Peso Molecular	78,08	188,05	42,0	144,08
Pureza Comercial %	85 a 98	98 a 99	90 a 98	22 a 30
Solubilidade gr/100 gr(25 ºC)	0,0016	0,762	4,05	
pH da solução saturada	6,7	3,5	7,6	1,2 (solução l%)
Íon Fluoreto em % (100% puro)	48,8	60,7	42,25	79,2

Os compostos de flúor são os de uso corrente no Brasil, entretanto, outros compostos poderão ser utilizados desde que existentes no mercado.

Quadro III - Técnicas de Fluoretação

De acordo com o composto químico a utilizar e em função da vazão do sistema, podem ser:

- Com dosagem a seco

Composto químico	Vazão l/s	Equipamento requerido	Especificação do produto químico	Manuseio	Ponto de Aplicação	Cuidados
Fluossilcato de Sódio ou Fluoreto de Sódio	6 a 90 _____ 90	-dosador volumétrico -balança -tremonha (tegão) -câmara de dissolução _____ -dosador gravimétrico -tremonha -câmara de dissolução	Pó, em sacos, tambores ou a granel	-alimentação direta do saco - equipamento do manejo a granel	-canal aberto -efluente do filtro -reservatório de água filtrada	-poeira -respingos -efeito do arco na tremonha

Com dosagem por via úmida

Composto químico	Vazão l/s	Equipamento requerido	Especificação do produto	Manuseio	Ponto de aplicação	Cuidados
Fluoreto de Cálcio (Fluorita)	1.000	-tanque de solução de sulfato de alumínio	fluorita 100% passando na peneira 350 mesh pureza 98%	-pesagem -mistura constante medição de vazão	-na entrada da ETA juntamente com Al2 (SO4)3	
Fluoreto de Sódio	30	-dosador de solução -tanque de mistura -balança -agitador	Cristalino e isento de poeira, em sacos ou tambores	-pesagem -mistura -medição	-efluente do filtro	-poeira -respingos -preparo da solução
	30 a 130	-dosador de solução -saturador -medidor de vazão	a) saturador descendente: Cristal grosso, em tambores ou sacos b) saturador ascendente: Cristal fino	esvaziamento completo da embalagem	Reservatório de águafiltrada	-poeira -respingos
Ácido Fluossilícico	30	-dosador de solução -balança -tanque calibrado -tanque de mistura -misturador	-Ácido fortificado (pouca sílica) em tambores ou bombonas	-despejo ou sifonamento -medição -misturador -pesagem	-efluente do filtro -Reservatório de água filtrada	-corrosão -vapores -respingos -preparo de solução
	30	-dosador de solução -tanque diário -balança -bombaparatransparência	a granel, em vagões ou caminhões	- bombeamento		-corrosão -vapores -vazamentos

Anexo C - Lei nº 6.050 - de 24 de maio de 1974

Dispõe sobre a fluoretação da água em sistemas de abastecimento quando existir estação de tratamento.

O Presidente da República

Faço saber que o Congresso Nacional decreta e eu sanciono a seguinte Lei:

Art. 10. Os projetos destinados à construção ou à ampliação de sistemas público de abastecimento de água, onde haja estação de tratamento, devem incluir previsões e planos relativos à fluoretação da água, de acordo com os requisitos e para os fins estabelecidos no regulamento desta Lei.

Parágrafo único. A regulamentação, de que trata este artigo, disciplinará a aplicação de fluoretação, tendo em vista, entre outras condições específicas, o teor natural de flúor já existente e a necessária viabilidade econômico-financeira da medida.

Art. 20 A captação de recursos para a aquisição do equipamento e dos produtos necessários à fluoretação poderá ser feita mediante financiamento concedido por estabelecimentos de crédito oficiais, de acordo com a exigências aplicáveis.

Art. 3o Esta Lei entrará em vigor no prazo de 120 (cento e vinte) dias após a sua publicação, revogadas as disposições em contrário.

Brasília, 24 de maio de 1974; 158.o da Independência e 86.o da República.

Ernesto Geisel
Paulo de Almeida Machado

Anexo D - Decreto nº 76.872, de 22 de dezembro de 1975

Regulamenta a Lei nº 6.050, de 24 de Maio de 1974, que dispõe sobre a fluoretação da água em sistemas públicos de abastecimento

O PRESIDENTE DA REPÚBLICA, no uso das atribuições que lhe confere o Artigo 81, Item III, da Constituição e tendo em vista o disposto na Lei nº 6.050, de 28 de Maio de 1974,

DECRETA:

Artigo 1º Os projetos destinados à construção ou à ampliação de sistemas públicos de abastecimento de água deverão conter estudos sobre a necessidade de fluoretação de água para consumo humano.

Parágrafo Único - O disposto neste artigo se aplica inclusive aos sistemas que não possuam estação de tratamento nos quais deverão ser utilizados métodos e processos de fluoretação apropriados, observado o contido no Parágrafo 1º do Artigo 2º, deste Decreto.

Artigo 2º Fica o Ministério da Saúde nos termos da Alínea "b" do Item I do Artigo 1º da Lei nº 6.229, de 17 de Julho de 1975, autorizado a estabelecer normas e padrões para a fluoretação de água, a serem observados em todo o território nacional.

§ 1º As normas a que se refere este artigo fixarão as condições de obrigatoriedade da fluoretação da água levando em consideração o teor natural de flúor já existente, a viabilidade técnica e econômica da medida e o respectivo quadro nosológico de tal da população.

§ 2º As normas e padrões a que se refere este artigo disporão sobre:

a) a concentração mínima recomendada e a máxima permitida de íon fluoreto a ser mantida na água dos sistemas públicos de abastecimento;

b) métodos de análise e procedimentos para determinação da concentração de íon fluoreto nas águas de consumo público;

c) tipo de equipamento e técnicas a serem utilizadas na fluoretação de água.

§ 3º As normas e padrões de que trata este artigo serão aprovados por Portaria do Ministro de Estado da Saúde.

Artigo 3º Compete aos órgãos responsáveis pelos sistemas públicos de abastecimento de água dos Estados, do Distrito Federal, dos Municípios e dos Territórios, o projeto, instalação, operação e manutenção do sistema de fluoretação de que trata este regulamento.

Artigo 4º - Compete às Secretarias de Saúde ou órgãos equivalentes dos Estados, do Distrito Federal, dos Municípios e dos Territórios examinar e aprovar os planos e estudos

de fluoretação contidos nos projetos a que se refere o Artigo 1º deste Decreto, dentro de suas respectivas áreas de jurisdição.

Artigo 5º - O Ministério da Saúde, em ação conjugada com as Secretarias de Saúde ou órgãos equivalentes exercerá a fiscalização do exato cumprimento das normas estabelecidas neste decreto e nas demais complementares.

Artigo 6º - Os dirigentes dos órgãos responsáveis pelos sistemas públicos de abastecimento de água ficarão sujeitos às sanções administrativas cabíveis, de acordo com o regime jurídico a que estejam submetidos, pelo não cumprimento deste decreto e de suas normas complementares.

Artigo 7º - Os órgãos oficiais de crédito concederão facilidades para obtenção de financiamentos destinados à instalação dos sistemas de fluoretação da água.

Artigo 8º - O Ministério da Saúde em colaboração com órgãos oficiais de outros reconhecidos pelo Poder Público, promoverá as medidas necessárias à implementação do disposto mete decreto, inclusive a capacitação de recursos humanos visando a melhorar as condições de saúde dental da população.

Artigo 9º - Este Decreto entrará em vigor na data da de sua publicação, revogadas as disposições em contrário.

Brasília 22 de Dezembro de 1975; 154º da Independência e 87º da República.

Ernesto Geisel
Paulo de Almeida Machado
Maurício Rangel Reis

Elaboração em 2006

Feliziana Maria de Silveira - Cgesa/Densp/Presi/BSB
Fuad Moura Guimarães Braga - Cgesa/Desnp/Presi/BSB
Girlene Rodrigues Leite - Cgesa/Densp/Presi/BSB
Jailma Marinho Bezerra de Oliveira - Cgesa/Densp/Presi/BSB
Julio César Reis da Silva - URCQA/Diesp/Core-MA
Marinaldo da Silva Valente - URCQA/Diesp/Core-AM
Osman de Oliveira Lira - URCQA/Diesp/Core-PE
Vilma Ramos Feitosa - Cgesa/Densp/Presi

Revisão técnica em 2012

Aristeu de Oliveira Júnior - Cocag/Desam/Presi
Demétrius Brito Viana - Consultor OPAS
Jorge Luiz Nascimento Ramos - Cocag/Desam/Presi
Osman de Oliveira Lira - Sesam/Suest -PE
Estagiária: Enaile Lourenço da Silva Sousa - Cocag/Desam/Presi

Projeto gráfico do miolo

Gláucia Elisabeth de Oliveira — Diedi/Coesc/Presi/**Funasa**

Capa e diagramação

Eduardo dos Santos — Diedi/Coesc/Presi/**Funasa**

Normalização bibliográfica

Solange de Oliveira Jacinto Dimub/Coesc/**Funasa**

FUNASA

MISSÃO

Promover a saúde pública e a inclusão social por meio de ações de saneamento e saúde ambiental.

VISÃO DE FUTURO

Até 2030, a **Funasa**, integrante do SUS, será uma instituição de referência nacional e internacional nas ações de saneamento e saúde ambiental, contribuindo com as metas de universalização do saneamento no Brasil.

VALORES

- Ética;
- Eqüidade;
- Transparência;
- Eficiência; Eficácia e Efetividade;
- Valorização dos servidores;
- Compromisso socioambiental.

Fundação Nacional de Saúde
SUS
Ministério da Saúde
GOVERNO FEDERAL
BRASIL
PAÍS RICO É PAÍS SEM POBREZA